This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

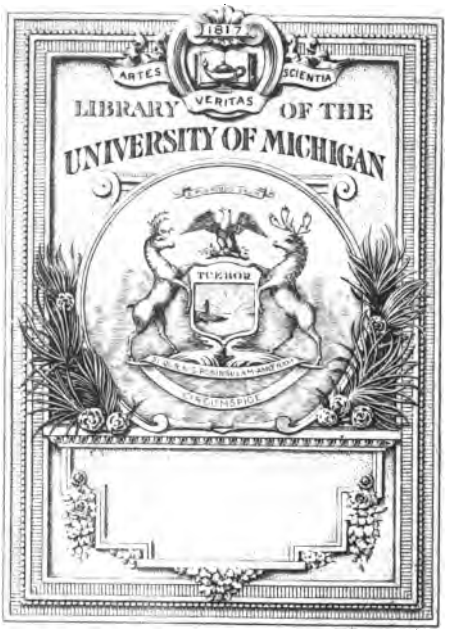
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

VANDENHOECK & RUPRECHT
in Göttingen. 1.10



QC
23
K83
1861

Anfangsgründe

der

Physik

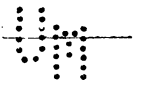
für den

Unterricht in den oberen Klassen der Gymnasien und Realschulen,

sowie zur Selbstbelehrung,

von

Karl Koppe,
Professor und Oberlehrer am königl. preuß. Gymnasium zu Soest.



Mit 297 in den Text eingedruckten Holzschnitten und einer Karte.

Siebente, verbesserte Auflage.

Essen,
Druck und Verlag von G. D. Bädeker.
1861.

Gen. Lit.
6-19-30

010-16-91 MEM

Vorrede zur siebenten Auflage.

Daß der Verfasser bei dieser neuen Auflage, so wie bei den früheren, bemüht gewesen ist, durch Ergänzung und angemessenere Fassung einzelner Stellen, so wie auch durch Berücksichtigung der Fortschritte der Wissenschaft die Brauchbarkeit des Buches zu erhöhen, wird von dem Leser mit Recht erwartet werden können und von Seiten des Verfassers kaum der Erwähnung bedürfen. Dagegen ist besonders hervorzuheben, daß, während in den früheren Auflagen Maßbestimmungen in der Regel nach dem preußischen (oder rheinländischen) Maße und nur in einzelnen Fällen, wie z. B. bei dem Barometerstande, nach dem älteren Pariser Maße ausgedrückt worden sind, bei der neuen Auflage dieses letztere Maß überall bei Maßbestimmungen in Anwendung gekommen ist.

Als der Verfasser den Text für die 1847—48 erschienene erste Auflage bearbeitete, lag eine weitere Verbreitung des Buches ganz außerhalb der Berechnung desselben. Mit Rücksicht auf seine Schüler, für welche das Buch zunächst bestimmt war, und bei denen allein in Betreff des preußischen Maßes eine auf häufigere Anschauung gegründete Kenntniß vorausgesetzt werden konnte, schien es dem Verfasser am zweckmäßigsten, dieses Maß für räumliche Abmessungen zu Grunde zu legen. Da jedoch weiterhin das Buch auch in Ländern, in denen das preußische Maß nicht gebräuchlich ist, mehrfach Eingang gefunden hat, und da überdieß in Preußen seit dem 1. Juli 1858 die bis dahin bestandene Uebereinstimmung zwischen dem Maß- und Gewichtssysteme aufgegeben worden ist, so hat der Verfasser bei dieser neuen Auflage dem älteren Pariser Maße, welches noch gegenwärtig in naturwissenschaftlichen Werken sehr gewöhnliche Anwendung findet, nicht blos an einzelnen Stellen, sondern durchgehends vor dem preußischen Maße den Vorzug gegeben. Damit aber das Buch, während es so einerseits an Bequemlichkeit des Gebrauches außerhalb Preußens gewonnen haben dürfte, nicht hieran für die Leser in Preußen Einbuße erleide, so ist den Angaben nach dem Pariser Maße in der Regel die Bestimmung nach dem preußischen Maße in Parenthese beigefügt.

Warum der Verfasser nicht das neuere französische Metermaß gewählt hat, wird der Rechtfertigung kaum bedürfen, da dieses Maß zur Zeit in Deutschland noch nirgends allgemeine Verbreitung gefunden hat, und daher bei der Mehrzahl der Leser, für welche das Buch vorzugsweise bestimmt ist, eine geläufige Vorstellung von räumlichen Größenbestimmungen nach diesem Maße nicht zu erwarten steht, während das ältere Pariser Maß von den in den Ländern deutscher Zunge gebräuchlichen Maßen mehrentheils so wenig abweicht, daß dasselbe mit diesem in allen Fällen, wo es sich nicht um volle Genauigkeit, sondern nur um eine ohngefähre Abschätzung handelt, ohne wesentlichen Irrthum verwechselt werden kann. Zur genaueren Vergleichung aber können die auf Seite 4 und 5 verzeichneten Maßstäbe und die auf Seite 5 abgedruckte Tabelle dienen.

Endlich mag hier noch darauf hingewiesen sein, daß das Buch in der neuen Auflage auch in der äußeren Ausstattung durch Vermehrung und Verbesserung der Holzschnitte und der beigefügten Charte nicht unwesentlich gewonnen hat.

Indem so dasselbe seine Wanderungen zum siebenten Male antritt, scheidet der Verfasser von dem Buche mit dem Wunsche, daß es in den schon durchlaufenen Kreisen die nehmliche freundliche Aufnahme, wie früher finden, und daß sich ihm auch das eine oder andere bisher noch verschlossene Gebiet eröffnen möge.

Soest, im October 1860.

Der Verfasser.

Berichtigung.

Seite 156, Zeile 25 von oben muß es nicht isogonische Linie, sondern isoklinische Linien heißen.

Einleitung.

§. 1. Physik. — Naturbeschreibung.

Die Physik oder Naturlehre ist ein Zweig der Naturwissenschaft überhaupt. Mit dem Worte Natur umfassen wir alle durch die Sinne wahrnehmbaren Gegenstände. Unsere Wahrnehmung beschränkt sich nicht blos auf solche Körper, welche unserer Erde angehören; wir beobachten auch noch andere nicht zu unserer Erde gehörende Naturkörper, welchen wir den Namen Himmelskörper beilegen. In Betreff der auf unserer Erde befindlichen und eben deshalb uns näher bekannten Naturkörper unterscheiden wir Thiere, Pflanzen und Mineralien. Den Thieren und Pflanzen schreiben wir Leben zu, und da wir an ihnen besondere Werkzeuge (Organe) der Ernährung und bei den Thieren auch der Bewegung wahrnehmen, so nennen wir Thiere und Pflanzen organische Körper; die Mineralien aber, da ihnen dergleichen Werkzeuge fehlen, nennen wir anorganische.

Die Naturkörper, organische, wie anorganische, beharren nicht immer in dem nehmlichen Zustande, sondern erleiden die mannigfaltigsten Veränderungen (der Größe, Gestalt, des Ortes, den sie einnehmen, der Farbe u. s. w.); und wir bemerken, daß Naturkörper, denselben Bedingungen unterworfen, auch wieder die nehmlichen Veränderungen erfahren; z. B. Körper, welche nicht von anderen getragen werden, fallen nach der Erde; vermehrte Wärme dehnt die Körper aus; unbeschäftigte Magnete verlieren an Kraft u. dgl. m. Dergleichen Wahrheiten nennen wir Naturgesetze. Wir verstehen nehmlich unter einem Naturgesetze einen Satz, welcher aussagt, daß ein Naturkörper unter gewissen Bedingungen bestimmte Veränderungen erfährt. Die Physik nun ist die Lehre von den Naturgesetzen, denen die Körper überhaupt, organische sowohl als unorganische, unterworfen sind. Die Naturgeschichte dagegen beschäftigt sich mit den Merkmalen und Erscheinungen der einzelnen Naturkörper, welche sie, um die Uebersicht zu erleichtern und Wiederholungen zu vermeiden, nach der Uebereinstimmung ihrer Merkmale in besondere Gruppen (Naturreiche, Classen, Ordnungen, Familien, Gattungen, Arten, Spielarten) eintheilt.

Die allgemeinen Gesetze der Physik gelten eben so wohl für organische, als für unorganische Körper. Nicht blos die unorganischen, sondern auch die organischen Körper sind schwer, undurchdringlich, elastisch u. s. w. Diejenige Wissenschaft, welche sich mit den durch den Lebensproceß der organischen Körper bedingten besonderen Erscheinungen und ihren Gesetzen beschäftigt, heißt Physiologie. Sie zerfällt natürlich in so viele Theile, als man besondere Gruppen der organischen Körper unterscheidet. — Von den der Erde nicht angehörenden Himmelskörpern aber handelt die Astronomie.

§. 2. Naturgesetz.

Zur Kenntniß der Naturgesetze gelangen wir durch die Erfahrung, theils auf dem Wege der bloßen Beobachtung der Naturerscheinungen, welche ohne

unser Zuthun vorgehen, Meteore, — theils auf dem Wege des Versuches, indem wir die Naturkörper in bestimmte Verhältnisse zu einander setzen, Experiment.

Eine Naturerscheinung erklären, heißt sie auf ein allgemeines Naturgesetz, welchem auch andere Erscheinungen unterworfen sind, zurückführen; so z. B. erklären wir die größere Wärme am Aequator und die größere Kälte der Polargegenden durch das allgemeine Gesetz, daß die Sonnenstrahlen und überhaupt die Lichtstrahlen um so weniger erwärmen, je schiefer sie auffallen. Die Ursachen der Erscheinungen aber zu erforschen, sind wir nicht im Stande; wir nennen diese uns unbekannten Ursachen, welche die Erscheinungen hervorrufen, Kräfte, ohne daß wir jedoch die Kräfte selbst erfahrungsmäßig aufzuweisen oder zu erklären vermögen. Wir schreiben das Fallen nicht unterstützter Körper der anziehenden Kraft der Erde zu; worin aber diese Kraft besteht, wodurch sie hervorgerufen wird, vermögen wir nicht zu sagen. Dergleichen Annahmen, welche nicht unmittelbar durch die Erfahrung selbst gegeben sind, und deren wir uns dazu bedienen, um verwandte Erscheinungen übersichtlich zusammen zu fassen, nennen wir Hypothesen. Eine Hypothese hat für uns einen um so größeren Werth, je einfacher die Voraussetzungen sind, durch welche sie Einheit und Zusammenhang in die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen bringt; dennoch bleibt die Hypothese immer nur eine Möglichkeit, welche sich wohl zur Wahrscheinlichkeit steigern, nie aber Gewißheit werden kann. Sie hört dagegen gänzlich auf zu bestehen, wenn sie mit irgend einer Erfahrung in Widerspruch tritt, da alle Wahrheit in der Physik auf der Erfahrung beruht.

Da unsere Kenntniß der Naturgesetze lediglich aus der Erfahrung fließt, wir aber nicht im Stande sind, alle Erfahrungen zu erschöpfen, so kann unsere Kenntniß der Naturgesetze nur eine unvollkommene sein, und wenn wir auch annehmen, daß der Schöpfer die Natur nach unwandelbaren Gesetzen geordnet hat, so sind wir doch unendlich davon entfernt, auch nur eines dieser Gesetze erkannt zu haben. Was noch heute für uns als Naturgesetz gilt, kann schon morgen durch neuere Erfahrungen seine Giltigkeit verloren haben. — Die ältere Physik unterschied electrische und unelectrische Körper und sprach es also als ein Naturgesetz aus, daß nur gewisse Körper electrisch werden könnten, während Gray's Untersuchungen (1729) gezeigt haben, daß ein solcher Unterschied gar nicht besteht. — Das Mariotte'sche Gesetz, daß die Elasticität der Luft in gleichem Verhältnisse mit der Dichtigkeit zunimmt, eines der schönsten Gesetze, dessen Kenntniß für das richtige Verständniß einer Menge von Erscheinungen unentbehrlich ist, gilt dennoch nur, wie spätere Untersuchungen gezeigt haben, innerhalb bestimmter Grenzen. Viele unserer so genannten Naturgesetze sind ein höchst unvollkommener Ausdruck der wirklich stattfindenden Erscheinungen. So lehren z. B. die physikalischen Lehrbücher, daß die Wege, welche die Körper beim freien Falle zurücklegen, sich wie die Quadrate der Zeiten verhalten. Allein erstens betrifft dieses Gesetz einen Fall, welchen wir auch künstlich hervorzubringen nicht im Stande sind, nehmlich daß die Körper im leeren Raume sich bewegen; zweitens beruht dasselbe auf der nicht ganz richtigen Annahme, daß die Kraft, mit welcher die Körper nach der Erde hingezogen werden, während der ganzen Dauer des Falles dieselbe bleibe. Diese Kraft wächst aber, so wie die Körper sich der Erde nähern, und wenn auch dieses Wachsthum, so lange die Körper nicht von sehr großen Höhen fallen, nur ein geringes ist, so kann doch das oben angegebene Gesetz nicht für den vollständigen, sondern nur für einen näherungsweise richtigen Ausdruck der wirklich stattfindenden Erscheinungen gelten.

§. 3. Nutzen der Physik.

Von dem Nutzen der Physik für das bürgerliche Leben zu sprechen, scheint in unseren Tagen überflüssig, wo neuere Entdeckungen auch sogleich Anwendungen in den Gewerben (Dampfmaschine, Lichtbilder, Galvanoplastik, electri-

sche Telegraphie, Zündhölzchen u. dgl.) gefunden haben, an denen die Höchsten, wie die Niedrigsten im Volke Theil nehmen. Doch abgesehen von allem unmittelbaren Nutzen, sollte der Schöpfer die Natur im Kleinsten, wie im Größten darum so wunderbar bereitet und uns mit der Fähigkeit aufzufassen und zu begreifen ausgerüstet haben, daß wir mit verschlossenen oder abgewendeten Sinnen durch diesen Wunderbau hindurchgehen, in welchem sich die Allmacht, wie die liebende Fürsorge dessen, dem Alles Dasein und Erhaltung verdankt, gleich herrlich offenbaren? —

§. 4. Physik. — Chemie.

Die Veränderungen, welche durch die gegenseitigen Einwirkungen der Körper auf einander hervorgebracht werden, betreffen entweder nur einzelne Merkmale (die Größe, Farbe, den Ort u. dgl.), oder die Körper ändern wesentlich ihre innere Natur, so nehmlich, daß zwei Körper sich zu einem dritten von beiden verschiedenen vereinigen, oder ein Körper in zwei wesentlich verschiedene zerfällt, wie z. B. Zinnober in Quecksilber und Schwefel zerlegt und umgekehrt durch die Verbindung von Quecksilber und Schwefel wieder Zinnober erhalten werden kann. Die Veränderungen der ersteren Art, bei welchen die Körper nur das eine oder andere ihrer äußeren Merkmale verändern, heißen *physikalische* im engeren Sinne; die Veränderungen der letzteren Art, bei welchen neue Körper von wesentlich verschiedener Beschaffenheit erhalten werden, heißen *chemische*. Wir werden es hier hauptsächlich mit den physikalischen Erscheinungen im engeren Sinne zu thun haben, ohne jedoch die Erörterung chemischer Processe ganz auszuschließen.

Diejenigen Erscheinungen, welche nur die räumlichen Verhältnisse der Körper betreffen, nennen wir *mechanische*.

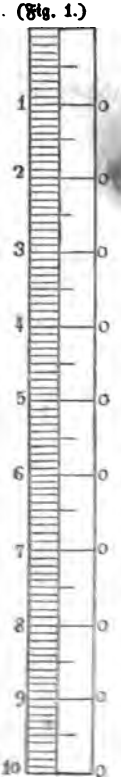
Erste Abtheilung.
Mechanische Erscheinungen.

Erster Abschnitt.
Von den mechanischen Eigenschaften der Körper im Allgemeinen.

§. 5. Allgemeine Eigenschaften.

Solche Eigenschaften, welche allen Körpern zukommen, sind: Ausdehnung, Undurchdringlichkeit, Porosität, Theilbarkeit, Schwere, Beweglichkeit. Die ersten beiden Eigenschaften, Ausdehnung und Undurchdringlichkeit, heißen nothwendige allgemeine Eigenschaften, weil ohne sie kein Körper gedacht werden kann oder nicht für uns vorhanden sein würde. Die anderen können zufällige allgemeine Eigenschaften genannt werden, weil wir uns wohl einen Körper auch ohne dieselben denken können. Denn obschon z. B. alle uns bekannten Körper schwer sind, so wäre es doch nicht geradezu unmöglich, daß ein Körper aufgefunden würde, welcher keine Schwere besäße.

(Fig. 1.)

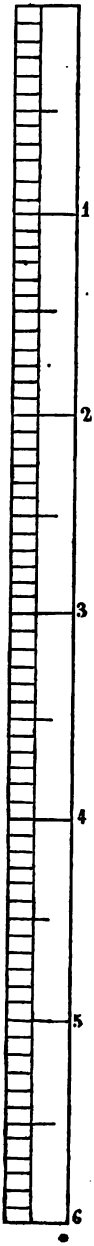


§. 6. Ausdehnung.

Jeder Körper ist ausgedehnt, d. h. er nimmt einen Raum ein, wie schon im mathematischen Begriffe des Körpers liegt. Die Größe des von einem Körper eingenommenen Raumes heißt sein Volumen. Wir unterscheiden an jedem Körper drei Ausdehnungen: Länge, Breite und Höhe.

Dasjenige Maaß, nach welchem naturwissenschaftliche Angaben gegenwärtig am häufigsten ausgedrückt werden, ist das neuere französische Metermaaß. Ein Meter (= 3,078 par. Fuß = 3,186 rheinl. Fuß) ist der zehnmillionste Theil vom nördlichen Meridianquadranten der Erde. Derselbe wird zunächst in 10 Decimeter, der Decimeter in 10 Centimeter und der Centimeter in 10 Millimeter eingetheilt. Ein Millimeter ist also der 1000te Theil des Meter. Eine Länge von tausend Metern führt dagegen den Namen Kilometer. Fig. 1 stellt die ohngefähre Größe eines in Centi- und Millimeter eingetheilten Decimeter dar. Vierzig Millionen solcher Decimeter würden zusammen dem Umfange der Erde gleich kommen.

(Fig. 2.)



Da jedoch dieses Maß kaum noch in Frankreich, viel weniger in Deutschland und andern Ländern allgemeine Verbreitung gefunden hat, so werden wir uns im Folgenden für Maßbestimmungen des älteren französischen Maßes bedienen, welches weniger von den in den Ländern deutscher Zunge gebräuchlichen Maßen abweicht, früher fast allgemein für naturwissenschaftliche Längenbestimmungen gebraucht wurde und auch gegenwärtig noch häufig für dieselben angewendet wird. Die Einheit dieses Maßes bildet der **Pariser Fuß**; dieser wird in 12 **Zoll** und der Zoll in 12 **Linien** getheilt; eine Länge von 6 Fuß aber führt den Namen **Toise**. — Fig. 2 stellt die ohngefähre Größe von 6 in Linien eingetheilten pariser Zollen dar.

Für größere Entfernungen ist das gebräuchlichste Maaß die **geographische Meile**, deren 15 auf einen Grad des Aequators gehn (1 geogr. M. = 22842,54 par. Fuß = 23642,1 preuß. Fuß*).

Anm. Wenn auch die in andern Ländern gebräuchlichen Fußmaße mit dem älteren Pariser nicht genau übereinstimmen, so lassen sich doch die meisten derselben mit diesen, wo es nur auf eine ohngefähre Abschätzung abgesehen ist, ohne wesentlichen Irrthum verwechseln. Für Bestimmungen aber, bei denen es sich um größere Genauigkeit handelt, giebt die folgende Tabelle das nähere Verhältniß an:

1 Pariser Fuß	=	325 Millimeter.
1 rheinländischer oder preußischer Fuß	=	314 "
1 Wiener Fuß	=	316 "
1 Würtembergischer Fuß	=	286 "
1 Bairischer Fuß	=	292 "
1 Hessen-Darmstädtischer Fuß	=	28[illegible] "
1 Badenscher und Schweizer Fuß	=	300 "
1 Englischer und Russischer Fuß	=	305 "
1 Schwedischer Fuß	=	297 "
1 Dänischer Fuß	=	314 "

Sehr nahe sind 29 Par. Fuß = [illegible] preuß. oder rheinl. Fuß, 15 Par. Fuß = 16 engl. Fuß, 34 preuß. Fuß = 35 engl. Fuß. — 1 Meter ist fast genau gleich $1^1/_2$ preuß. Elle (1 Elle = $2^1/_8$ Fuß); er unterscheidet sich hievon um weniger als $^1/_{1600}$.

§. 7. Undurchdringlichkeit.

Die **Undurchdringlichkeit** ist die Eigenschaft, vermöge deren zwei Körper nicht zugleich in demselben Raume sein können. — In einem Cylinder, welcher mit einem beweglichen Kolben geschlossen ist, wird die Luft um so mehr zusammengepreßt, je größer der auf den Kolben ausgeübte Druck ist; niemals aber ist es möglich, die Luft ganz zu verdrängen, den Kolben bis auf den Boden so niederzupressen, daß gar kein Zwischenraum bliebe, vorausgesetzt, daß der Kolben vollkommen dicht an die Wände des Cylinders anschließt, so daß keine Luft entweichen kann.

*) Eine preußische Meile ist = 24000 preuß. Fuß und übertrifft also die geogr. Meile um 357,9 preuß. Fuß.

Auf gleichem Grunde beruht die Taucherglocke, in welcher das Wasser um so höher steigt, je tiefer dieselbe eingesenkt wird, ohne jedoch wegen des Widerstandes der eingeschlossenen Luft den obern Boden zu erreichen. (Hallei konnte in einer solchen mit noch vier anderen Personen $1^1/_2$ Stunde auf dem Meeresboden zubringen. Ein längeres Verweilen verhinderte die durch das Athmen verdorbene Luft.)

Die Undurchdringlichkeit ist diejenige Eigenschaft, welche uns mit Sicherheit über das Vorhandensein der Körper außer uns belehrt, indem dieselben nehmlich vermöge ihrer Undurchdringlichkeit dem Eindringen unseres eigenen Körpers, ins Besondere der Finger widerstehen. Nur die Zeugnisse des Tastsinnes geben uns volle Gewißheit von der Existenz der Körper außer uns, während das Auge sich auch wohl durch bloße Bilder, z. B. im Spiegel, täuschen läßt.

Da, wie schon oben bemerkt, die Luft in der Taucherglocke durch das Athmen der unter derselben befindlichen Personen sehr bald verdorben wird, so pflegt man gegenwärtig dieselbe durch einen langen Schlauch, welcher bis über die Oberfläche des Wassers hinauf reicht, mit der äußern Luft zu verbinden und vermittelst einer Druckpumpe durch den Schlauch frische Luft in die Taucherglocke einzupumpen. Bei fortgesetztem Pumpen wird nicht blos die Glocke ganz mit Luft gefüllt, sondern es entweichen auch, wenn mit Pumpen fortgefahren wird, beständig Luftblasen am untern Rande der Glocke, so daß auf diese Art die Luft in der Glocke fortwährend erneuert wird.

§. 8. Porosität.

Das den Raum Erfüllende, vermöge dessen die Körper dem Eindringen anderer Körper widerstehen, nennen wir Materie. Die Menge der in einem Körper enthaltenen Materie nennen wir seine Masse und die Größe dieser Masse verglichen mit dem Raume, welchen der Körper einnimmt, seine Dichtigkeit. Die Dichtigkeiten zweier Körper verhalten sich daher bei gleichen Volumen wie ihre Massen und bei gleichen Massen umgekehrt wie ihre Volumina.

Die von der Materie eines Körpers nicht ausgefüllten leeren Zwischenräume nennt man Poren. In einem Schwamme können wir dieselben schon mit bloßen Augen, bei vielen anderen Körpern mit Hülfe des Microscopes wahrnehmen. Häufig können wir auch aus gewissen Erscheinungen, welche die Körper uns darbieten, auf das Vorhandensein von Poren schließen. So läßt sich z. B. durch Leder schon bei einem mäßigen, durch dichtes Holz bei stärkerem Drucke Quecksilber pressen; Wasser und andere Flüssigkeiten saugen Luft ein, welche aus denselben, wenn sie erwärmt werden, in Gestalt kleiner Bläschen entweicht. Selbst die dichtesten Körper, die Metalle, sind nicht ohne Poren. Wenn eine mit Wasser angefüllte goldene Kugel einem starken Drucke ausgesetzt wird, so bedeckt sich ihre Oberfläche mit einem feinen Thau.

Dieser Versuch ist zuerst 1661 von den Mitgliedern der Akademie zu Florenz ausgeführt worden. Die goldenen Hohlkugeln waren, um dieselben mit Wasser füllen zu können, mit einem Deckel versehen, welcher festgeschraubt und überdies verlöthet wurde. Bei einem von Außen ausgeübten Drucke von solcher Stärke, daß die Kugel ihre Gestalt verändert, vermindert sich ihr Raumesinhalt, obschon die Größe der Oberfläche unverändert bleibt, da bei gleich bleibender Oberfläche die Kugel unter allen Körpern den größten körperlichen Inhalt hat. Es wird daher, wenn die goldene Kugel so stark zusammengepreßt wird, daß eine Aenderung der Gestalt eintritt, auch auf das eingeschlossene Wasser ein Druck ausgeübt, welcher bei hinreichender Stärke, wie schon oben angeführt, veranlaßt, daß sich die Kugel an ihrer äußern Oberfläche mit einem feinen Thau bekleidet. — Auch mit andern Metallen ist später der nehmliche Versuch und mit gleichem Erfolge ausgeführt worden.

§. 9. Theilbarkeit.

Alle Körper lassen sich theilen, und so weit unsere Erfahrung reicht, diese Theile wieder in kleinere Theile zerlegen. Fragt man nun, ob diese Theilung sich ins Unendliche fortsetzen lasse, so ist zu erwiedern, daß einerseits noch Niemand auf Körpertheilchen gestoßen ist, von denen sich hätte behaupten lassen, daß sie nicht weiter theilbar seien, andererseits aber natürlich kein Mensch, wenn er auch das höchste Alter erreichte; dahin gelangen könnte, die Materie wirklich ins Unendliche zu theilen. Dazu kommt, daß sehr kleine Theile sich zuletzt der Wahrnehmung unserer Sinne und der Behandlung unserer Instrumente entziehen.

Ein Beispiel sehr feiner auf künstlichem Wege hervorgebrachter Vertheilung liefert die Vergoldung. Es ist bekannt, daß ein Ducaten hinreicht, die Statue eines Mannes zu Pferde zu vergolden. So vielmal die Fläche des Ducaten in der Oberfläche des Reiters und Pferdes enthalten ist, so vielmal muß die überkleidende Goldschicht dünner, als der Ducaten sein. Noch unvergleichlich feiner sind die Vertheilungen, welche bei der Verflüchtigung riechender Stoffe stattfinden. Legt man ein kleines Stückchen Moschus etwa von der Größe eines Hirsekorns in ein Zimmer, so wird binnen kurzer Zeit sich der Geruch desselben durch den ganzen Raum des Zimmers verbreiten, welches auch bei mäßiger Größe doch leicht einige tausend Kubikfuß umfaßt; und selbst wenn die Luft mehrmals am Tage gewechselt wird, wird der Moschusgeruch doch noch längere Zeit in dem Zimmer wahrzunehmen sein.

Bei der Anfertigung des sogenannten Goldbrathes, welcher zu den Lyoner Tressen verwandt wird, wird eine Silberstange erst vergoldet und dann zu feinem Drathe ausgezogen. Indem Reaumür aus dem Gewichte des verbrauchten Goldes das Volumen desselben und aus der Länge und Dicke des Drathes dessen Oberfläche berechnete, ergab sich die Dicke der Vergoldung $= 1/345000$ Par. Linie. Dennoch erwies sich die Vergoldung auch unter dem besten Microscope als eine zusammenhängende Fläche ohne alle Unterbrechung. (Gehler's Phys. Lex. Bd. 2. S. 507.)

§. 10. Aggregatzustand.

In Hinsicht des Widerstandes, welchen die Körper der wirklichen Theilung entgegensetzen, zeigen dieselben ein sehr verschiedenes Verhalten. Wir unterscheiden in dieser Beziehung drei verschiedene Zustände: fest, flüssig und luftförmig, welche wir Aggregatzustände nennen. Diese Zustände können jedoch keinen wesentlichen Unterschied begründen, nach welchem sich die Körper in verschiedene Classen theilen ließen, da der nehmliche Körper alle drei Zustände durchlaufen kann; so z. B. kennen wir das Wasser im luftförmigen Zustande, als Dampf, für gewöhnlich im flüssigen Zustande und im festen Zustande als Eis. Auch die meisten Metalle vermögen wir mit Hilfe der Wärme in alle drei Zustände zu versetzen; und wenn uns dasselbe noch nicht bei allen Körpern gelungen ist, so kann dieses einerseits darin seinen Grund haben, daß wir nicht im Stande sind, die erforderliche Wärme hervorzubringen; andererseits erleiden viele Körper in hohen Hitzegraden eine chemische Zersetzung. So wird z. B. das Holz bekanntlich in der Hitze verkohlt; d. h. die gasförmigen Bestandtheile Wasserstoff und Sauerstoff entweichen (in Verbindung mit etwas Kohlenstoff) und der feste Kohlenstoff bleibt zurück.

Wir nennen einen Körper fest, dessen Theile sich nur bei Anwendung einer bedeutenden Kraft trennen oder verschieben lassen. Absolut fest würde

Gen. Lib
6-19-30

010-16-31 MEM

Vorrede zur siebenten Auflage.

Daß der Verfasser bei dieser neuen Auflage, so wie bei den früheren, bemüht gewesen ist, durch Ergänzung und angemessenere Fassung einzelner Stellen, so wie auch durch Berücksichtigung der Fortschritte der Wissenschaft die Brauchbarkeit des Buches zu erhöhen, wird von dem Leser mit Recht erwartet werden können und von Seiten des Verfassers kaum der Erwähnung bedürfen. Dagegen ist besonders hervorzuheben, daß, während in den früheren Auflagen Maßbestimmungen in der Regel nach dem preußischen (oder rheinländischen) Maße und nur in einzelnen Fällen, wie z. B. bei dem Barometerstande, nach dem älteren Pariser Maße ausgedrückt worden sind, bei der neuen Auflage dieses letztere Maß überall bei Maßbestimmungen in Anwendung gekommen ist.

Als der Verfasser den Text für die 1847—48 erschienene erste Auflage bearbeitete, lag eine weitere Verbreitung des Buches ganz außerhalb der Berechnung desselben. Mit Rücksicht auf seine Schüler, für welche das Buch zunächst bestimmt war, und bei denen allein in Betreff des preußischen Maßes eine auf häufigere Anschauung gegründete Kenntniß vorausgesetzt werden konnte, schien es dem Verfasser am zweckmäßigsten, dieses Maß für räumliche Abmessungen zu Grunde zu legen. Da jedoch weiterhin das Buch auch in Ländern, in denen das preußische Maß nicht gebräuchlich ist, mehrfach Eingang gefunden hat, und da überdieß in Preußen seit dem 1. Juli 1858 die bis dahin bestandene Uebereinstimmung zwischen dem Maß- und Gewichtssysteme aufgegeben worden ist, so hat der Verfasser bei dieser neuen Auflage dem älteren Pariser Maße, welches noch gegenwärtig in naturwissenschaftlichen Werken sehr gewöhnliche Anwendung findet, nicht blos an einzelnen Stellen, sondern durchgehends vor dem preußischen Maße den Vorzug gegeben. Damit aber das Buch, während es so einerseits an Bequemlichkeit des Gebrauches außerhalb Preußens gewonnen haben dürfte, nicht hieran für die Leser in Preußen Einbuße erleide, so ist den Angaben nach dem Pariser Maße in der Regel die Bestimmung nach dem preußischen Maße in Parenthese beigefügt.

Diejenigen Luftarten, welche bei der gewöhnlichen Temperatur und nicht allzustarkem Drucke die luftförmige Gestalt behalten, nennt man Gase. Hiernach findet also zwischen Gasen und Dämpfen kein wesentlicher Unterschied statt, zumal viele Gase (wie z. B. Chlor, Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, Ammoniak u. a. m.) durch Anwendung großer Kälte und starken Druckes in den flüssigen Zustand übergehen. Andere dagegen, wie z. B. atmosphärische Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff u. a. m. haben sich bis jetzt noch nicht flüssig darstellen lassen.

§. 13. Cohäsion und Adhäsion.

Wenn man zwei sorgfältig abgeschliffene Metallplatten an einander hält, so bemerkt man, daß sie der Trennung mit einer nicht unbedeutenden Kraft widerstehen. Dasselbe findet statt, wenn man eine ebene Fläche eines festen Körpers mit der Oberfläche einer Flüssigkeit in Berührung bringt. Es findet also zwischen den Theilen zweier sich berührenden Körper eine Anziehung statt, welche, wie man sich leicht überzeugen kann, im Allgemeinen um so größer ist, in je mehr Punkten sich beide Körper berühren. Man nennt diese zwischen den Theilen zweier verschiedenen Körper stattfindende Anziehung Adhäsion. Die anziehende Kraft aber, welche die sich berührenden Theile des nehmlichen Körpers auf einander ausüben, heißt Cohäsion. Sie zeigt sich uns bei den festen Körpern in dem Widerstande, welchen sie der Trennung oder Verschiebung ihrer Theile entgegensetzen, und bei den Flüssigkeiten in dem Bestreben, wenn sie nicht durch störende Einwirkungen daran verhindert werden, die Kugelgestalt anzunehmen, wie wir z. B. an den Regentropfen sehen. Es kann nehmlich in einer gleichartigen flüssigen Masse, auf welche keine anderen Kräfte, als die Anziehung, welche die materiellen Theile derselben auf einander ausüben, einwirken, offenbar nur bei einer gleichförmigen Vertheilung der Masse um den Mittelpunkt, also bei der Kugelgestalt, Gleichgewicht stattfinden. Hiernach dürfte die Erde, welche nach der Annahme der Geologen sich früher in einem geschmolzenen Zustande*) befunden hat, nicht bloß im bildlichen, sondern im eigentlichen Verstande einem Tropfen im Weltraume zu vergleichen sein. — Wenn aber größere, flüssige Massen auf einer festen Unterlage ruhen, bewirkt die Schwere, zum Theil auch die Anziehung der berührenden Theile der Unterlage ein Auseinanderfließen und verhindert so die Bildung der Kugelgestalt.

*) Da wir später auf die Hypothese, daß die Erde früher eine geschmolzene Masse gebildet hat, noch mehr zurückkommen werden, so wollen wir hier kurz einige Hauptgründe, welche für diese Annahme sprechen, zusammenstellen. Erstens die Beschaffenheit der Felsmassen, welche den Kern der Gebirge bilden, z. B. des Granits, und ihre mehrfache Uebereinstimmung mit den Laven der Vulcane; — ferner die mit der Tiefe zunehmende innere Erdwärme, die aus der Tiefe entspringenden heißen Quellen und die aus den Cratern der Vulkane ausfließenden feurigen Massen, welche darauf hindeuten, daß noch gegenwärtig das Innere der Erde sich in einem geschmolzenen Zustande befindet, während die äußere Rinde sich bereits in Folge fortschreitender Abkühlung erhärtet hat; — ferner die organischen Ueberreste einer früheren Schöpfung, welche in den geschichteten Gebirgsformationen der gemäßigten und kalten Zone eingeschlossen sind, das Vorkommen von Thieren und Pflanzen, deren Gattungsverwandte sich gegenwärtig nur in der heißen Zone finden und dafür sprechen, daß auch in den vom Aequator entfernteren Gegenden der Erde früher eine höhere Temperatur stattgefunden hat; — endlich die an den Polen abgeplattete Gestalt der Erde, welche sich aus der Axendrehung derselben nur dann genügend erklären läßt, wenn die Erde sich früher einmal in einem weichen, flüssigen Zustande befunden hat.

Erscheinungen, welche auf der Adhäsion der sich berührenden Theile verschiedener Körper beruhen, sind: das Anlegen des Staubes an die Decke und die Wände des Zimmers, das Schreiben mit Kreide und Bleistift, das (galvanische) Vergolden oder Verkupfern, das Plattiren (Zusammenwalzen einer Kupfer- und Silberplatte); auch das Schreiben mit Dinte, indem nehmlich das in der Flüssigkeit schwebende Dintenpulver nach der Verdunstung derselben an dem Papier vermöge der Adhäsion haftet. — Ferner gehören hieher das Leimen, Kitten, Löthen u. s. w. Da nehmlich die Oberflächen fester Körper, auch wenn sie aufs sorgfältigste polirt sind, niemals ebene Flächen bilden, so können sie sich immer nur in einer sehr beschränkten Zahl von Punkten berühren, und es kann daher zwischen denselben nur eine schwache Adhäsion stattfinden. Viel inniger dagegen berühren sich eine feste und eine flüssige Masse; und da diese Berührung fortbesteht, nachdem der flüssige Körper, z. B. der flüssige Leim erstarrt ist, so hält die hieraus hervorgehende starke Adhäsion, so wie auch die Cohäsion der Theile des Leimes unter sich die beiden durch den Leim verbundenen Körper zusammen. Aehnliches gilt vom Kitten und Löthen, ferner von der Vergoldung im Feuer, dem Verzinnen, dem Belegen der Spiegel mit Amalgam u. dgl. m.

Auch zwischen festen und luftförmigen und flüssigen und luftförmigen Körpern findet Adhäsion statt. Wenn man ein Glas mit Wasser unter den Recipienten der Luftpumpe bringt, so sieht man vorzüglich an den Wänden des Glases Luftblasen emporsteigen.

Ausführlicher wird hiervon weiter unten (§. 77) gehandelt werden.

§. 14. Capillarität.

In Hinsicht der Adhäsion zwischen festen nnd flüssigen Körpern findet zunächst folgende Verschiedenheit statt:

1) Wenn man einen festen Körper in eine Flüssigkeit getaucht hat und dann wieder herauszieht, so bleiben entweder Theilchen des Flüssigen an der Oberfläche des festen Körpers haften, und man sagt dann, der feste Körper werde von dem flüssigen benetzt, oder dieses ist nicht der Fall. Im ersten Falle ist offenbar die Adhäsion zwischen dem festen und flüssigen Körper größer, als die Cohäsion der Theile der Flüssigkeit unter sich; im andern Falle findet das Umgekehrte statt. So wird z. B. Glas von Wasser, aber nicht von Queckfilber benetzt. Vom Queckfilber werden Gold, Silber, Kupfer, Blei, aber nicht Eisen benetzt. Vom Wasser bleiben fette Körper unbenetzt. Man kann daher die mit Fett bestrichene Hand in's Wasser tauchen und trocken wieder herausziehen. — Die Federn der Schwimmvögel sind durch eine ölige Fettigkeit gegen das Naßwerden, eben so viele Baumknospen, z. B. die der Roßkastanie, durch fettiges Harz der einhüllenden Schuppen gegen das Eindringen des Regens gesichert.

2) Wenn kleinere Mengen einer Flüssigkeit sich auf einer Unterlage befinden, welche von denselben benetzt wird, z. B. Wasser auf Glas, so fließen sie aus einander. Dagegen sammelt sich Queckfilber auf Glas, Wasser auf fettigen Körpern, in kleinen Kugeln, Tropfen, an.

3) Eine Flüssigkeit steht in einem Gefäße, dessen Wände sie benetzt, z. B. Wasser in einem Glase, am Rande höher, als in der Mitte und bildet also eine concave Oberfläche. Dagegen steht in einem Gefäße, dessen Wände nicht

benetzt werden, die Flüssigkeit, z. B. Quecksilber in einem Glase, am Rande tiefer, als in der Mitte, und die Oberfläche der Flüssigkeit ist also convex.

4) Wenn man ein gläsernes Röhrchen in Wasser taucht, so steigt das Wasser in demselben in die Höhe und zwar um so höher, je enger das Röhrchen ist. Dagegen steht Quecksilber in einem gläsernen Röhrchen tiefer, als außerhalb im Gefäße.

Da man diese Versuche mit feinen gläsernen Röhrchen anzustellen pflegt, deren innerer Durchmesser so klein, wie der eines Haares ist, so nennt man die hier angeführten Erscheinungen die Erscheinungen der Capillarität.

Auf den Gesetzen der Capillarität beruht eine Menge von Erscheinungen: das Einsaugen des Wassers von Schwamm, Löschpapier, Zucker, trockenem Holze u. dgl. Körpern, deren Poren zusammenhängende feine Canäle bilden; ferner das Aufsteigen der Dinte in dem Spalte der Feder, des Weingeistes, Oeles, geschmolzenen Talges in den Dochten; das Feuchtwerden einer Mauer, die auf nassem Grunde steht; das Abwischen des Schweißes vermittelst eines Tuches u. a. m.

Wie groß übrigens die Kraft der Capillarität ist, kann man daraus sehen, daß man vermittelst derselben Steine zu sprengen vermag, indem man in Spalten Keile von trockenem Holze eintreibt und sie dann befeuchtet, wodurch sie ausgedehnt werden und die Felsen aus einander reißen. Eben so werden Stricke, welche durch eine bedeutende Kraft gespannt sind, verkürzt, indem sie sich in der Dicke ausdehnen, wenn man sie befeuchtet.

Anm. Zu den oben angeführten Erscheinungen, welche auf der Adhäsion zwischen festen und flüssigen Körpern beruhen, können noch die beiden folgenden hinzugefügt werden:

5) Wenn man aus einem Gefäße eine Flüssigkeit, welche die Wände desselben benetzt, unter einem kleinen Neigungswinkel ausgießt, so fließt die Flüssigkeit nicht senkrecht, sondern an den Wänden des Gefäßes herab. Dieses ist weniger bei einer Flüssigkeit der Fall, welche die Wände des Gefäßes nicht benetzt. Daher ist es leichter, aus einem vollen Gefäße Quecksilber, als Wasser auszugießen.

6) Körper von geringem Durchmesser schwimmen auf Flüssigkeiten, von denen sie nicht benetzt werden, auch wenn sie specifisch schwerer sind. So z. B. kann man eine Nähnadel auf Wasser zum Schwimmen bringen; dieses gelingt aber nicht, wenn man die Nadel vorher durch Waschen mit Weingeist von allem anhaftenden Fette reinigt. Eben so vermögen viele Insecten über die Oberfläche des Wassers zu laufen oder vielmehr hinzugleiten, ohne daß sie einsinken.

La Place hat zuerst eine umfassende mathematische Theorie der Capillarerscheinungen im Jahre 1806 gegeben.

Nach den Versuchen von Gay-Lüssac verhalten sich die Höhen, zu denen Wasser in gläsernen Röhren emporsteigt, umgekehrt wie die Durchmesser dieser Röhren. In einer Röhre von 1 Par. Linie Durchmesser wird das Wasser ohngefähr um 6 Linien, in einer Röhre von einer halben Linie Durchmesser um 12 Linien u. s. w. gehoben. Wir müssen jedoch bemerken, daß die späteren Untersuchungen anderer Physiker zu erheblich abweichenden Resultaten geführt haben.

§. 15. Endosmose.

Manche Flüssigkeiten, wie z. B. Wasser und Oel, zeigen keine Neigung sich zu vermischen; selbst wenn sie durcheinander geschüttelt werden, lagern sie sich nach einiger Zeit wieder nach der Verschiedenheit ihres specifischen Gewichtes über einander, so daß das leichtere Oel auf dem schwereren Wasser schwimmt. Andere Flüssigkeiten, wie Wasser und Weingeist, zeigen ein entgegengesetztes Verhalten; wenn man in ein Gefäß erst Wasser und dann vorsichtig darüber Weingeist gießt, so mischen sich beide Flüssigkeiten allmählig mit einander und nach einiger Zeit enthalten auch die untersten Schichten

Weingeist und die obersten Schichten Wasser. Es muß daher Wasser in dem leichteren Weingeist emporgestiegen und Weingeist in dem schwereren Wasser zu Boden gegangen sein. So wie Wasser und Weingeist verhalten sich auch die Auflösungen von Zucker oder irgend einem Salze in Wasser und reines Wasser.

Eine noch auffallendere Erscheinung, welche man mit dem Namen Endosmose (von ἔνδον hinein und ὠσμός Stoß) bezeichnet, bietet der folgende Versuch dar. Wenn man an einem Medizinglase den Boden absprengt*) und dasselbe unten mit einer thierischen Blase überbindet, hierauf mit einer Auflösung von Kupfervitriol in Wasser füllt und den Hals mit einem Korke, durch welchen eine gläserne Röhre hindurchgeht, verschließt, dann dieses Gläschen b (Fig. 3) in ein mit Wasser gefülltes Gefäß a so weit einsenkt, daß beide Flüssigkeiten gleiche Höhe haben, so sieht man sehr bald die Flüssigkeit in dem innern Glase b steigen und sich allmählig in der Röhre c zu einer beträchtlichen Höhe erheben, während das Wasser in dem äußeren Gefäße a fällt. Es muß daher Wasser durch die Blase aus dem weiteren Gefäße in das engere getreten sein. Daß aber auch umgekehrt Kupfervitriollösung durch die Blase in der entgegengesetzten Richtung hindurchgegangen ist, zeigt die blaue Färbung der Flüssigkeit im äußeren Gefäße. — Bringt man in das äußere Gefäß Kupfervitriollösung und in das innere und die Röhre Wasser, so fällt dasselbe in diesen, während die Flüssigkeit in dem äußeren Gefäße steigt. Dasselbe Verhalten wie Wasser und Kupfervitriollösung in dem angeführten Versuche zeigen auch Wasser und Weingeist, reines Wasser und eine Auflösung von Zucker oder irgend einem Salze in Wasser u. a. m.

(Fig. 3.)

Aehnliche Erscheinungen zeigen nicht blos animalische, sondern auch vegetabilische Membranen, in geringem Maaße auch Thon und andere poröse unorganische Körper.

Die Ursachen, durch welche die Erscheinungen der Endosmose hervorgebracht werden, ja selbst die Gesetze derselben sind bis jetzt mit voller Sicherheit noch nicht ermittelt. Ohne Zweifel aber beruhen dieselben auf der ungleichen Anziehung, welche die Theile der porösen Blase auf die verschiedenen Flüssigkeiten ausüben, welche sich zu beiden Seiten derselben befinden.

Die Endosmose ist als eine Hauptursache des Einsaugens des Wassers durch die Spitzen der Wurzelfasern und des Aufsteigens des Pflanzensaftes im Stamme bis in die Spitzen der Zweige und die Blätter anzusehen. Da

*) Was leicht geschieht, wenn man dasselbe mit einem glühenden Eisen umfährt und dann in kaltes Wasser taucht.

nehmlich das Waſſer, welches die Wurzeln in der Erde umgiebt, eine geringere Dichtigkeit beſitzt, als der in den Zellen der Wurzelfaſern enthaltene Saft, ſo muß das Waſſer vermöge der Endosmoſe in dieſe Zellen eindringen, den Saft derſelben verdünnen und dann weiter in ſolche Zellen, welche noch dichtere Säfte enthalten, übergehen und ſo aus der Wurzel in den Stengel und zuletzt bis zu den äußerſten Zweigen und den Blättern emporſteigen. Indem aber die Blätter fortwährend wäſſerige Theile ausdünſten, wodurch der in den Zellen derſelben enthaltene Pflanzenſaft verdichtet wird, muß während der wärmeren Jahreszeit, ſo lange überhaupt die Pflanze mit Blättern bekleidet iſt, eine fortdauernde aufſteigende Bewegung des von den Spitzen der Wurzelfaſern eingeſogenen Waſſers, überhaupt des Pflanzenſaftes von der Wurzel bis zu den Blättern hin ſtattfinden. Eben ſo dürfte durch die Endosmoſe der Uebergang des Blutes aus den Arterien durch die Capillargefäße in die Venen befördert werden.

Ueber die Endosmoſe haben ſeit 1822 verſchiedene Phyſiker Unterſuchungen angeſtellt. — Als Dütrochet in das innere Gefäß eine Auflöſung von Zucker in zwei Theilen Waſſer brachte und ſtatt einer geraden Röhre eine doppelt gekrümmte Röhre anwendete, welche in ihrem unteren Theile Queckſilber enthielt, war nach zwei Tagen durch den Druck des durch die Blaſe hindurchgegangenen und in der Röhre aufgeſtiegenen Waſſers das Queckſilber über drei Fuß emporgetrieben worden. Da nun Queckſilber (ohngefähr) 14mal ſchwerer iſt, als Waſſer, ſo würde in einer geraden Röhre das Waſſer gegen 42 Fuß geſtiegen ſein.

Dasſelbe Verhalten wie Flüſſigkeiten, zeigen auch Gaſe, wenn dieſelben durch einen poröſen Körper getrennt ſind. Man nennt dieſe Erſcheinung die Diffuſion der Gaſe. Dieſelbe bewirkt, daß aus einer Flaſche, welche mit irgend einem Gaſe angefüllt iſt, auch wenn die Flaſche umgekehrt geſtellt und der untere Theil mit Waſſer angefüllt iſt, das Gas allmählig entweicht und atmoſphäriſche Luft in die Flaſche tritt.

§. 16. Kryſtalliſation.

Auf der Anziehung, welche die Theile der Körper auf einander ausüben, beruht auch die merkwürdige Erſcheinung, daß ſich dieſelben bei dem Uebergange aus dem flüſſigen in den feſten Zuſtand zu regelmäßigen Geſtalten zu verbinden pflegen. Man nennt dieſe regelmäßigen Körper Kryſtalle. Die Kryſtalle werden im Allgemeinen um ſo größer und vollſtändiger, je langſamer der Uebergang aus dem flüſſigen in den feſten Zuſtand geſchieht. Die ſchönſten Kryſtalle liefert uns die Natur in den Kryſtallen der Edelſteine und anderer Mineralien.

Wir kennen zwei Mittel, feſte Körper flüſſig zu machen, erſtens durch Auflöſen im Waſſer, Weingeiſt, Säuren und anderen Flüſſigkeiten, und zweitens durch Schmelzen im Feuer. Wenn man Kochſalz oder Zucker in Waſſer auflöſ't und dann in einem offenen Schälchen die Flüſſigkeit verdunſten läßt, ſo ſieht man das Salz in Würfeln, den Zucker in vier- und ſechsſeitigen Säulen anſchießen.

Die Kryſtalle legen ſich gern an feſte Körper an; es bilden ſich daher die erſten Kryſtalle an den Wänden oder am Boden des Gefäßes. Bei'm Kandiszucker pflegt man durch Einführung von Fäden die Kryſtallbildung zu befördern; bei'm Hutzucker dagegen ſucht man durch Umrühren die Kryſtallbildung zu verhindern.

Wenn man Schwefel in einem Tiegel ſchmilzt, denſelben dann allmählig erkalten läßt, und nachdem die oberſte Schicht erſtarrt iſt, dieſelbe durchſticht und die noch flüſſige Maſſe ausgießt, ſo ſieht man, daß im Innern der erſtarrte Schwefel in regelmäßigen Nadeln angeſchoſſen iſt.

Auch das Wasser zeigt beim Frieren Neigung zum Kryſtalliſiren. An den gefrorenen Fenſterſcheiben bemerkt man feine Eisnadeln, welche regelmäßig ſich unter Winkeln von 60°, auch wohl von 30° an einander legen. Eben ſo zeigen die Schneeflocken, von denen Fig. 4 einige Beiſpiele darſtellt, regelmäßige Geſtaltungen, welchen die Form des regelmäßigen Sechsecks zu Grunde liegt.

(Fig. 4.)

Auf dem kryſtalliniſchen Gefüge beruht es auch, daß viele Mineralien ſich nach gewiſſen Richtungen vorzüglich leicht ſpalten laſſen, wie man dies beſonders deutlich am Kalkſpath beobachten kann.

Die Kryſtalliſation iſt jedesmal mit Wärmeentwickelung, nicht ſelten auch mit Lichtentwickelung verbunden.

Auf ähnliche Weiſe, wie oben für den Schwefel angegeben, erhält man aus geſchmolzenem Wismuth würfelförmige Kryſtalle.

Manche Subſtanzen löſen ſich in größerer Menge in heißem, als in kaltem Waſſer auf. So vermögen 2 Loth kaltes Waſſer nur ohngefähr $^1/_2$ Loth Salpeter, 2 Loth ſiedendes Waſſer dagegen über 4 Loth Salpeter aufzulöſen. Läßt man dieſe Auflöſung allmählig erkalten, ſo kryſtalliſirt der größte Theil des in derſelben enthaltenen Salpeters in ſechsſeitigen Säulen und nur etwa $^1/_2$ Loth Salpeter bleibt in der erkalteten Flüſſigkeit zurück. Die Kryſtalle fallen jedoch bei einer weniger concentrirten Auflöſung ſchöner und größer aus.

Das Bitterſalz, (welches etwa zur Hälfte aus ſchwefelſaurer Magneſia, zur Hälfte aus Kryſtallwaſſer beſteht,) iſt ohngefähr in der dreifachen Gewichtsmenge kalten Waſſers (von 10° C.) löslich; es vermögen daher 2 Loth kaltes Waſſer nur etwa $^2/_3$ Loth Bitterſalz aufzulöſen; dagegen können 2 Loth ſiedendes Waſſer ohngefähr 3 Loth Bitterſalz auflöſen. Wenn dieſe heiße Auflöſung erkaltet, ſo ſcheidet ſich aus derſelben ein Theil des Salzes in großen vierſeitigen Säulen aus.

Wenn man zu 4 Loth ſiedendem Waſſer ſowohl Salpeter, als auch Bitterſalz, von jedem etwa 2 Loth hinzuſetzt, ſo kryſtalliſirt beim Erkalten der Auflöſung jedes der Salze für ſich; die entſtandenen Salpeterkryſtalle ſind frei von Bitterſalz; die Bitterſalzkryſtalle enthalten keinen beigemengten Salpeter. — Die Kryſtalliſation bietet daher dem Chemiker das ſehr geeignete Mittel dar, Salze, welchen andere Subſtanzen beigemiſcht ſind, von dieſen zu ſcheiden, chemiſch rein darzuſtellen.

Solche Salze, welche, wie das Kochſalz, in ziemlich gleichen Mengen kalten und heißen Waſſers löslich ſind, werden nicht durch Abkühlung, ſondern durch Verdunſtung des Waſſers zum Kryſtalliſiren gebracht.

§. 17. Beweglichkeit.

Unter Bewegung verſtehen wir die Veränderung des Ortes, unter dem Orte die Stelle, welche ein Körper im Raume einnimmt. Um den Ort eines Körpers zu beſtimmen, ſind wir genöthigt denſelben auf andere Körper zu beziehen, deren Lage wir als gegeben annehmen. Wollen wir z. B. angeben, wo wir uns ſelbſt befinden, ſo beziehen wir uns auf unſeren Wohnort; die Lage unſeres Wohnortes beſtimmen wir, indem wir gewiſſe Punkte oder Linien auf der Erde als gegeben annehmen; wollten wir aber weiter fragen, wo die Erde ſich befindet, ſo werden wir uns leicht überzeugen, daß wir hierauf keine beſtimmte Antwort zu geben im Stande ſind. Selbſt wenn wir auch die Lage der Erde gegen andere Weltkörper anzugeben vermöchten, ſo würde man uns doch weiter nach der Lage dieſer Weltkörper fragen können. Es iſt hiernach wohl einleuchtend, daß es überhaupt nicht möglich iſt, den

absoluten Ort eines Körpers im Raume anzugeben, und daß wir nur im Stande sind, den relativen Ort eines Körpers zu bestimmen, indem wir ihn auf andere Körper beziehen, deren Lage wir uns als gegeben denken. Eben so vermögen wir nur die relative, niemals die absolute Bewegung eines Körpers festzustellen.

Bei einer jeden Bewegung berücksichtigen wir den Weg, den der Körper zurückgelegt, die Zeit, die Geschwindigkeit, die Richtung, die Masse des bewegten Körpers und die Kraft, welche die Bewegung hervorbringt.

Den Weg messen wir nach Fußen, Meilen u. dgl., die Zeit nach Jahren, Tagen, Stunden u. s. w. Durch die Vergleichung des Weges mit der Zeit gelangen wir zu dem Begriffe der Geschwindigkeit. Legt ein Körper in gleichen Zeiten immer gleiche Wege zurück, so versteht man unter Geschwindigkeit den in einer Zeiteinheit zurückgelegten Weg. Als Zeiteinheit nimmt man in der Regel die Secunde an. Legt ein Körper in gleichen Zeiten ungleiche Wege zurück, so versteht man unter der Geschwindigkeit den Weg, welchen der Körper in der Zeiteinheit zurücklegen würde, wenn der Zustand der Bewegung, in welchem er sich in einem bestimmten Momente befindet, unverändert fortdauerte. — Eine Bewegung, bei welcher die Geschwindigkeit beständig dieselbe bleibt, heißt gleichförmig; ändert sich aber die Geschwindigkeit, so heißt die Bewegung ungleichförmig. Die ungleichförmige Bewegung kann beschleunigt und verzögert sein. Ein Beispiel einer beschleunigten Bewegung ist ein fallender Körper und ein Beispiel einer verzögerten Bewegung ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper. Das einzige bekannte Beispiel einer gleichförmigen Bewegung ist die Axendrehung der Erde*) und wahrscheinlich auch die der übrigen Himmelskörper.

Wenn der Weg eines Körpers eine gerade Linie ist, so behält derselbe beständig dieselbe Richtung bei; beschreibt aber ein Körper eine krummlinige Bahn, so nimmt er in jedem Punkte derselben eine andere Richtung an. Man findet diese für einen bestimmten Punkt einer krummlinigen Bahn, indem man an dieselbe durch diesen Punkt eine Tangente zieht.

Die Kräfte, welche Bewegung hervorbringen, können momentan oder continuirlich wirken. Als eine momentan wirkende Kraft können wir den Stoß ansehen. Ein Beispiel einer continuirlichen Kraft ist die Schwere.

Da wir die Kräfte selbst nicht wahrzunehmen vermögen, vielmehr auf das Vorhandensein derselben nur aus ihren Wirkungen schließen, so werden wir auch nach diesen die Größe der bewegenden Kräfte beurtheilen müssen. Es ist klar, daß eine Kraft um so größer sein muß, je größer die Geschwindigkeit ist, welche sie einem Körper ertheilt, und je größer die Masse dieses Körpers ist. Weiter unten (§. 36) werden wir sehen, daß die Größe einer bewegenden Kraft im geraden Verhältnisse der Masse und Geschwindigkeit steht.

Auf einen Körper können auch zu gleicher Zeit mehrere Kräfte wirken. So wird z. B. der Mond zu gleicher Zeit von der Erde und der Sonne

*) Wenigstens kommt diese einer gleichförmigen Bewegung so nahe, daß wir eine Abweichung hiervon nicht nachzuweisen im Stande sind. Wenn aber die Erde sich wirklich allmählig abkühlt, so muß auch die Zeit ihrer Axendrehung sich verkürzen, da in Folge der Zusammenziehung alle Punkte der Erde der Axe näher rücken und folglich kleinere Kreise durchlaufen, — wenn auch diese Verkürzung erst in Jahrtausenden eine merkliche Größe erlangen dürfte.

angezogen, Schiffe werden häufig durch die vereinte Kraft des Windes und der Ruder fortbewegt, u. dgl. m. Wenn auf einen Körper mehrere Kräfte so wirken, daß durch dieselben keine Bewegung hervorgebracht wird, so sagt man: die Kräfte halten sich das Gleichgewicht, wie dieses z. B. bei zwei gleichen, nach entgegengesetzten Richtungen wirkenden Kräften der Fall ist.

Die Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte heißt Statik, die Lehre von der Bewegung Mechanik. Man unterscheidet die Statik im engeren Sinne, welche blos von den festen Körpern handelt, von der Hydrostatik und Aerostatik, welche das Gleichgewicht der flüssigen und luftförmigen Körper zu ihrem Gegenstande haben. Eben so behandeln die Mechanik, Hydraulik und Pneumatik die Gesetze der Bewegung fester, flüssiger und luftförmiger Körper. — Uebrigens faßt man auch wohl alle hier genannten Wissenschaften in den Gesammtnamen Mechanik im weitesten Sinne zusammen.

Beispiele von Geschwindigkeiten in einer Secunde:

Geschwindigkeit	eines Fußgängers, welcher 3 Meilen in 5 Stunden zurücklegt	4 Fuß.
=	eines Windhundes	80 =
=	eines englischen Rennpferdes	40 =
=	des berühmten Rennpferdes Sterling	80 =
=	eines Adlers	100 =
=	einer Brieftaube	120 =
=	eines schnellsegelnden Schiffes	14 =
=	eines Postwagens, welcher eine Meile in 50 Minuten zurücklegt	8 =
=	eines Dampfwagens, welcher in einer Stunde 6 Meilen macht	40 =
=	der meisten Flüsse	3—4 =
=	der Donau	5—6 =
=	eines mäßigen Windes	10 =
=	eines Sturmwindes	50 =
=	des heftigsten Orkanes	120 =
=	des Schalles in der Luft	1044 =
=	einer Büchsenkugel	1500 =
=	einer 24pfündigen Kanonenkugel	2300 =
=	der Erde in ihrer Bahn (ohngefähr)	4 Meil.
=	des Lichtes	42000 =

Zu den vorstehenden Beispielen fügen wir noch hinzu: die Rotationsgeschwindigkeit eines Punktes auf dem Aequator der Erde beträgt 1431,5 Par. Fuß (1481,7 preuß. Fuß).

§. 18. Das Trägheitsgesetz und die Schwungkraft.

Von der Ruhe und der Bewegung der Körper gilt das Fundamentalgesetz: Jeder Körper beharrt so lange im Zustande der Ruhe oder Bewegung, bis er durch irgend eine äußere Ursache hieran verhindert wird. Was zunächst die Ruhe anlangt, so leuchtet uns die Richtigkeit des Satzes sogleich ein. Daß aber auch jeder bewegte Körper das Bestreben hat, den Zustand der Bewegung, die er einmal erlangt hat, beständig beizubehalten, können wir durch keinen Versuch nachweisen, da bei allen auf der Erde bewegten Körpern Widerstand der Luft und Reibung vermindernd auf die Geschwindigkeit derselben einwirken, so daß die Körper zuletzt zur Ruhe kommen. Nur die Bewegungen der Himmelskörper bieten uns Beispiele solcher Bewegungen dar, welche, so weit unsere Erfahrungen reichen, mit unverminderter Geschwindigkeit fortdauern.

Daß aber jeder einmal in Bewegung gebrachte Körper diese Bewegung fortzusetzen strebt, lehren uns unzählige Erfahrungen: — Wenn der Wagen, in welchem wir sitzen, plötzlich anhält, so schwanken wir nach vorn; fährt

derselbe plötzlich ab, so schwanken wir nach hinten; — der Dampfwagen setzt seine Bewegung fort, auch wenn die Maschine aufgehört hat zu wirken; — der Stein in unserer Hand, welchen wir durch rasche Schwingungen unseres Armes in Bewegung setzen, fährt fort sich zu bewegen, auch nachdem unsere Hand ihn losgelassen hat; — eben so setzen der Pfeil, welchen die Elasticität der Sehne, die Kugel, welche die Expansion der Pulverdämpfe im Flintenlaufe in Bewegung setzte, ihre Bewegung noch fort, nachdem die Ursache dieser Bewegungen längst aufgehört hat zu wirken. — Der Hammer oder das Beil wird am Stiele befestigt, wenn man mit dem entgegengesetzten Ende des Stieles gegen eine feste Wand stößt oder auf dasselbe einen Schlag ausübt. — Auch folgende Beispiele gehören hierher: Wenn aus dem Mastkorbe eines schnell segelnden Schiffes ein Stein fällt, so fällt derselbe doch neben dem Maste nieder, obschon das Schiff während seines Falles sich fortbewegt hat, weil nehmlich der Stein die Bewegung, welche er mit dem ganzen Schiffe theilte, so lange er sich im Mastkorbe befand, auch während des Fallens beibehält. — Aehnliches gilt von den Bällen, welche Kunstreiter auf rasch laufenden Pferden in die Höhe werfen und wieder auffangen.

Ein bewegter Körper hat aber nicht bloß das Bestreben, seine Geschwindigkeit, sondern auch die Richtung der Bewegung unverändert beizubehalten, also in gerader Linie fortzuschreiten. Kein in Bewegung gesetzter und dann sich selbst überlassener Körper beschreibt eine krummlinige Bahn, wenn er nicht durch fortwährende Einwirkung einer continuirlichen Kraft hierzu genöthigt wird; — die geworfenen Körper zieht die Schwere, die Planeten die Anziehung der Sonne von der geraden Linie ab. Wenn die anziehende Kraft der Sonne plötzlich zu wirken aufhörte, so würden die Planeten nach der Richtung der Tangente des Punktes ihrer Bahn, in welchem sie sich gerade beim Aufhören dieser Anziehung befinden, vermöge des Trägheitsgesetzes in gerader Linie fortgehen.

Die Schwere, nicht die krummlinige Bewegung unserer Hand ist der Grund, daß wir im Bogen werfen; — wir vermögen keinen Stein um die Ecke zu werfen.

Jeder bewegte Körper, welcher durch irgend eine Ursache genöthigt ist, eine krummlinige Bahn zu durchlaufen, hat, wie wir gesehen haben, das Bestreben, in gerader Linie fortzugehen, also sich von dem Mittelpuncte des durchlaufenen Bogens zu entfernen. Man nennt dieses Bestreben in der wissenschaftlichen Sprache: Schwungkraft*) oder Centrifugalkraft. Diese Kraft ist es, welche den Faden spannt, an welchem wir einen geschwungenen Stein halten; sie ist der Grund der abgeplatteten Gestalt der Erde; sie nöthigt uns, bei raschem Laufen oder Reiten im Kreise den Oberleib nach dem Mittelpunkte des Kreises hinzuneigen, bis die Schwere der nach Außen treibenden Schwungkraft das Gleichgewicht hält; sie bewirkt die Gefahr des Umwerfens bei einem Wagen, welcher im raschen Laufe um eine Ecke biegt, und veranlaßt, daß auf Eisenbahnen die Schienen an der äußeren

*) Im gemeinen Leben verbindet man mit diesem Worte einen andern Begriff; man versteht nehmlich hierunter das Bestreben der Körper, den Zustand der einmal erlangten Bewegung vermöge des Trägheitsgesetzes beizubehalten; so z. B. in dem Worte Schwungrad, dessen Anwendung keineswegs auf der Schwungkraft, sondern lediglich auf dem Trägheitsgesetze beruht.

Seite der Curven eine etwas höhere Lage, als an der inneren erhalten, starke Krümmungen aber ganz vermieden werden müssen.

Die Schwungkraft ist dem Quadrate der Geschwindigkeit des bewegten Körpers direct und dem Radius der Krümmung umgekehrt proportional.

Außerdem wächst dieselbe natürlich in gleichem Verhältnisse mit der Masse des bewegten Körpers.

Die Wirkung der Schwungkraft zeigt sich sehr deutlich beim Rouletteſpiel.

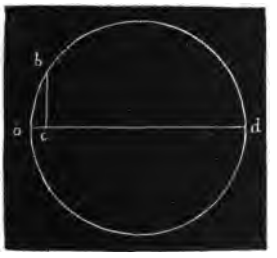
Auf derselben beruht auch das bekannte Kunststück mit einem Glase Wasser, welches man in einen Reifen stellt, der so umgeschwungen wird, daß weder das Glas aus dem Reifen fällt, noch das Wasser ausfließt.

Wenn in einem nicht luftleeren Thermometer durch Erschütterung oder einen anderen Umstand eine Luftblase zwischen das Queckſilber gekommen ist, wodurch natürlich das Thermometer unbrauchbar wird, so läßt sich dieselbe dadurch beseitigen, daß man das Thermometer mit dem oberen Ende an einen Bindfaden befestigt und dann rasch im Kreise schwingt. Die Schwungkraft treibt das schwere Queckſilber vom Mittelpunkte der Drehung weg, also nach der Kugel, und die leichtere Luftblase begiebt sich über das Queckſilber nach der Spitze der Röhre hin.

Auf dem Prinzipe der Centrifugalkraft beruhen auch mehrere gewerbliche Vorrichtungen; so unter andern der sogenannte Hydroextractor, welcher in Kattundruckereien und Bleichen angewendet wird, um das Auswinden der nassen Zeuge zu ersetzen. Derselbe besteht im Wesentlichen aus einem cylinderförmigen Kessel mit vielfach durchlöcherten Wänden, welcher mit großer Geschwindigkeit um seine Axe gedreht werden kann. Bei der Umdrehung wird aus dem an die innere Seite der Wände angelegten feuchten Zeuge das Wasser vermöge der Centrifugalkraft ausgetrieben.

Das oben über die Größe der Schwungkraft angegebene Gesetz wird am klarsten mit Hilfe der höheren Analysis abgeleitet; auf elementarem Wege läßt sich dasselbe in folgender Art erläutern: Es sei ab, Fig. 5, ein sehr kleiner Bogen, welchen der bewegte Körper in der Zeiteinheit durchläuft; dann giebt, wenn wir durch den Endpunkt b eine Senkrechte bc auf den durch den andern Endpunkt a gehenden Durchmesser ad ziehen, ac die Entfernung an, um welche sich der bewegte Körper in der Zeiteinheit von der durch a gehenden Tangente, welche er vermöge des Trägheitsgesetzes zu durchlaufen strebt, entfernt hat und kann daher als Maaß der Schwungkraft dienen. Da wir den Bogen ab sehr klein angenommen haben, so werden wir denselben füglich mit der Sehne ab verwechseln dürfen. Denken wir uns noch bd gezogen, so ist in dem rechtwinkligen Dreiecke abd

(Fig. 5.)



$$ac : ab = ab : ad, \text{ also } ac = \frac{ab^2}{ad}.$$

Nun ist ab offenbar der (tangentialen) Geschwindigkeit des benetzten Körpers, also ab^2 dem Quadrate dieser Geschwindigkeit proportional und ad gleich dem doppelten Radius, wonach durch die eben erhaltene Formel die Richtigkeit des obigen Gesetzes dargethan ist.

Setzen wir den Radius $= r$, so ist der Durchmesser $ad = 2r$, die Peripherie $= 2r\pi$, und wenn wir die Umlaufszeit t nennen, der in der Zeiteinheit durchlaufene Bogen $ab = \frac{2r\pi}{t}$, folglich

$$ac = \frac{4r^2\pi^2}{t^2 . 2r} = \frac{2r\pi^2}{t^2}.$$

Wir können daher auch das Gesetz über die Größe der Schwungkraft in der folgenden, für weiter unten (§. 20) folgende Ableitungen bequemen Form ausdrücken:

Die Schwungkraft ist bei einer kreisförmigen Bewegung dem Radius direct und dem Quadrate der Umlaufszeit umgekehrt proportional.

Wir haben einmal die Schwungkraft dem Radius umgekehrt und das andere Mal direct proportional angegeben. Zwischen diesen Angaben findet jedoch nur ein schein-

barer, kein wirklicher Widerspruch statt, indem sie sich auf ganz verschiedene Voraussetzungen beziehen. Das Letztere findet statt, wenn zwei auf ungleichen Kreisen bewegte Körper, z. B. zwei auf der Erdoberfläche in ungleichen Abständen vom Aequator befindliche Körper, in der nehmlichen Zeit einen Umlauf vollenden, dann ist die Schwungkraft für den auf dem größeren Kreise bewegten Körper die größere und zwar im Verhältniß der Größe des Radius. Das Erstere ist der Fall, wenn zwei auf verschiedenen Bahnen bewegte Körper, z. B. zwei Locomotiven, welche mit gleicher Geschwindigkeit Bahncurven ungleicher Krümmung durchlaufen, in gleichen Zeiten gleich große Wege zurücklegen, also der eine in der Secunde eben so viel Fuß, wie der andere durchläuft. Dann ist die Schwungkraft für den auf der stärker gekrümmten Bahn bewegten Körper, d. h. auf der Bahn, welche den kleinern Krümmungsradius hat, die größere. Sie ist dann dem Radius umgekehrt proportional.

§. 19. Von der Schwere.

Alle uns bekannten Körper sind schwer, d. h. sie haben das Bestreben, sich dem Mittelpunkte der Erde zu nähern; werden Körper durch eine Unterlage verhindert, diesem Streben zu folgen, so üben sie einen Druck aus, welchen wir Gewicht nennen. Schwere und Gewicht unterscheiden sich also von einander wie Ursache und Wirkung.

Wir unterscheiden absolutes und specifisches Gewicht; unter dem absoluten Gewichte verstehen wir den Druck an und für sich, welchen ein Körper vermöge der Schwere auf eine Unterlage ausübt. Zum Begriffe den specifischen Gewichtes gelangen wir, indem wir zugleich das Volumen des Körpers berücksichtigen. In der Regel werden hierbei alle anderen Körper mit dem Wasser verglichen, und wenn wir z. B. das specifische Gewicht des Platins = 21 setzen, so heißt dieß: Platin ist 21 mal so schwer, als eine gleich große Wassermasse, oder ein Volumen Platin wiegt eben so viel, als 21 gleich große Volumina Wasser. Wir drücken das absolute Gewicht nach Pfunden, Lothen u. s. w. aus. Das specifische Gewicht dagegen ist eine bloße Verhältnißzahl, welche anzeigt, wie viel mal ein Körper so schwer ist, als eine gleich große Masse Wasser. — Die Mittel, das specifische Gewicht der Körper zu bestimmen, werden wir weiter unten §. 53 u. 74 kennen lernen.

Das absolute Gewicht eines Körpers dient uns zugleich als Maaß der Masse desselben. Wir nehmen nehmlich an, daß sich die Massen zweier Körper, welche wir an sich nicht zu ermitteln vermögen, wie ihre absoluten Gewichte verhalten. Masse und Gewicht sind jedoch darum nicht gleich bedeutende Ausdrücke. So vermindert sich z. B. das Gewicht eines Körpers, wie wir gleich weiter sehen werden, mit der Entfernung von der Erdoberfläche, während doch seine Masse dieselbe bleibt.

Wenn ein Körper nicht unterstützt ist, so fällt er; ohne den Widerstand der Luft würde ein fallender Körper in der ersten Secunde (ohngefähr) 15 Par. Fuß durchlaufen; in jeder folgenden Secunde aber legt er einen größeren Weg zurück, da seine Bewegung wegen der fortdauernden Wirkung der Schwere eine beschleunigte ist. Von den Gesetzen des freien Falles werden wir unten (in §. 38) ausführlich handeln.

Die Richtung der Schwere geht nach dem Mittelpunkte der Erde; ganz streng gilt dieses jedoch nur für den Aequator und die Pole der Erde; an anderen Stellen weicht die Richtung der Schwere, da die Erde keine vollkommene Kugel ist, ein Wenig von der Linie nach dem Mittelpunkte ab.

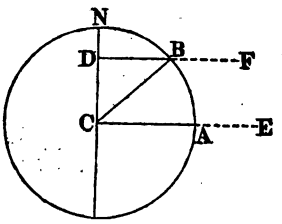
Wir haben uns die Schwere nicht als eine von dem Mittelpunkte der Erde ausgehende, sondern als eine Kraft zu denken, welche durch die ge-

sammte Anziehung, welche alle materiellen Theile der Erde ausüben, hervorgebracht wird; sie ist deßhalb nach dem Mittelpunkte gerichtet, weil um diesen die gesammte Masse der Erde gleichförmig vertheilt ist.

Die Schwere ist am größten an der Erdoberfläche, sie nimmt ab, wenn wir uns von der Oberfläche nach der Höhe oder Tiefe entfernen. Die erste Hälfte dieses Satzes, daß die Schwere um so mehr abnimmt, je mehr wir uns über die Oberfläche der Erde erheben, also auf hohen Bergen geringer ist, als im Thale, sind wir leicht geneigt zuzugeben. Von der Richtigkeit der andern Hälfte, daß die Schwere im Innern der Erde mit der Tiefe ebenfalls abnehmen muß, überzeugen wir uns durch folgende Ueberlegung: Denken wir uns zunächst in den Mittelpunkt der Erde, so ist klar, daß die anziehenden Kräfte hier nach allen Seiten gleich stark wirken und sich gegenseitig aufheben, also die Schwere im Mittelpunkte gleich Null ist. Wir würden hier, wo es kein oben und unten mehr giebt, jede beliebige Lage nach Willkühr annehmen und in derselben beharren können, ohne je besorgen zu müssen, zu fallen. — Entfernen wir uns nun vom Mittelpunkte nach der Oberfläche hin, so ist klar, daß die anziehende Kraft der Masse, welche wir unter uns zurückgelassen haben, die anziehende Kraft der Masse, welche sich noch über uns befindet, übertrifft und zwar um so mehr, je weiter wir uns vom Mittelpunkt entfernen und der Oberfläche nähern, und daß folglich die Schwere an der Oberfläche, wo die ganze Masse nach unten hin anziehend wirkt, am größten sein muß.

Die Schwere ist aber auch nicht für alle Gegenden der Erdoberfläche dieselbe; sie ist am Aequator am kleinsten und nimmt nach den Polen hin zu, theils deßhalb, weil wegen der abgeplatteten Gestalt der Erde die Punkte des Aequators um ohngefähr drei Meilen weiter vom Mittelpunkte der Erde entfernt sind, als die Pole, theils deßhalb, weil die Verminderung, welche die Schwere durch die aus der Axendrehung der Erde hervorgehende Schwungkraft erfährt, am Aequator mehr, als in höheren Breiten beträgt. Ist nehmlich A, Fig. 6, ein Punkt des Aequators, B ein zwischen dem Aequator und dem Pole gelegener Punkt der Erdoberfläche, so ist zunächst die aus der Axendrehung der Erde hervorgehende Schwungkraft in A größer, als in B, weil der Abstand AC des Punktes A von der Drehungsaxe NS größer ist, als der Abstand BD des Punktes B von dieser Axe, und also der Punkt A in der nehmlichen Zeit einen größern Kreis beschreibt, als der Punkt B. Zweitens wirkt in A die Schwere in der Richtung AC, die Schwungkraft in der Richtung AE, und da diese Richtungen einander gerade entgegengesetzt sind, so wird die Schwere hier um die volle Größe der Schwungkraft vermindert. Im Punkte B dagegen wirkt die Schwere in der Richtung BC, die Schwungkraft in der Richtung BF, und da diese Richtungen einen (stumpfen) Winkel einschließen, so wird hier die Schwere zwar ebenfalls durch die Schwungkraft vermindert, aber nicht um die volle Größe derselben (vergl. unten §. 23 u. 24). Die Verminderung, welche die Schwere durch die Schwungkraft erfährt, ist also aus zwei Gründen in B kleiner, als in A, erstens weil schon an sich die

(Fig. 6.)



Schwungkraft in B kleiner, als in A ist, und zweitens weil in B die Schwere nicht um die volle Größe, sondern nur um einen Theil dieser kleineren Schwungkraft vermindert wird.

Die Schwere ist unter dem Aequator ohngefähr um $^1/_{300}$ kleiner, als in unseren Breiten, und ohngefähr um $^1/_{200}$ kleiner, als am Pole. Man würde daher mit einem gleichen Aufwande von Muskelkraft am Aequator eine Last von 100 ℔, in unseren Breiten von $99^2/_3$ ℔ und am Pole von $99^1/_2$ ℔ tragen können*).

Die angeführten Bestimmungen sind durch die Beobachtungen von Pendelschwingungen (vergl. unten §. 40) erhalten worden. Da nehmlich das Pendel durch die Schwere in Bewegung gesetzt wird, so ist klar, daß dasselbe an einem Orte um so rascher schwingen, also in einem Tage, einer Stunde um so mehr Schwingungen machen muß, je größer an diesem Orte die Schwere ist. Umgekehrt wird man aus der verschiedenen Zahl der Schwingungen, welche dasselbe Pendel an zwei Orten in der nehmlichen Zeit macht, auf die verschiedene Größe der Schwere an beiden Orten schließen können. Ein Pendel, welches am Aequator Secunden schwingt, also in jeder Stunde 3600 Schwingungen macht, macht in unseren Breiten ohngefähr 5 und am Pole 9 Schwingungen mehr in der Stunde.

Eben so haben Beobachtungen von Pendelschwingungen gezeigt, daß die Schwere auf hohen Bergen geringer ist, als im Thale.

Wir haben oben gesagt, daß die Schwere eine Folge der Anziehung sei, welche alle Theile der Erde auf die Körper ausüben. Wenn diese Ansicht richtig ist, müssen auch die Körper auf der Erdoberfläche sich gegenseitig anziehen. Da aber die Masse des größten Berges, wenn sie mit der Masse der Erde verglichen wird, nur als ein sehr Geringes erscheint, so können auch diese Anziehungen nur sehr klein sein. Sehr sorgfältig angestellte Versuche**), bei welchen man ein Pendel zu beiden Seiten eines Berges aufhing, haben wirklich gezeigt, daß das Pendel ein Wenig von der Richtung nach dem Mittelpunkte der Erde gegen die Masse des Berges hin abgelenkt wurde.

Indem man die Masse des Berges zu ermitteln suchte, ferner die Entfernung derselben von dem aufgehängten Pendel bestimmte und hiermit die Entfernung des Pendels vom Mittelpunkte der Erde verglich, so erhielt man durch die Größe jener Ablenkung ein Mittel zur Abschätzung der gesammten Masse der Erde. Man hat auf diese Art die Masse der Erde zu etwa 10 Quadrillionen Pfund berechnet und ihre Dichtigkeit 4,7mal so groß, als die Dichte des Wassers gefunden. Andere und mit großer Sorgfalt (von Cavendish 1797, von Reich 1837 und von Baily 1842) angestellte Versuche, bei denen man die anziehende Kraft großer Metallmassen mit der Anziehung der Erde verglich, haben für diese eine noch größere Dichtigkeit, nehmlich 5,3 bis 5,7 ergeben.

Vor wenigen Jahren (1854) hat Airy aus Beobachtungen an Pendeln, welche derselbe in einem Bergwerksschachte und an der Oberfläche anstellte, aus der ungleichen Zahl der Schwingungen, welche dieselben in gleichen Zeiten vollendeten, die ungleiche Größe der Schwere an den Beobachtungspunkten und die mittlere Dichtigkeit der Erde, letztere = 6,6, hergeleitet.

Obschon die Ergebnisse dieser mit großer Schwierigkeit verbundenen Versuche von einander abweichen, so führen sie doch übereinstimmend zu dem in geologischer Hinsicht höchst wichtigen Resultate, daß die Erde im Innern eine größere Dichtigkeit, als an der

---

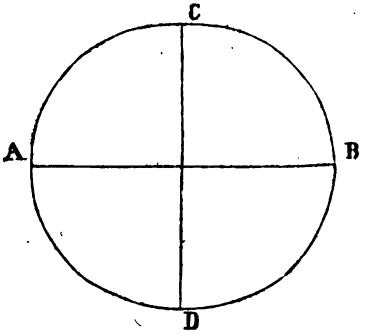
*) Bezeichnet g die Schwere am Aequator, φ die Breite eines Ortes, so ist die Schwere an demselben $= g(1+0{,}0052\sin\varphi^2)$.

**) Diese Versuche sind in den Jahren 1774—1776 von Maskelyne und Hutton in der Nähe des Berges Shehallien an der Grenze von Schottland angestellt worden.

Oberfläche besitzt, indem die Massen, welche die Erdrinde zusammensetzen, nur etwa 3mal so dicht, als Wasser sind.

Ueber die Gestalt der Erde bemerken wir noch Folgendes: Nach den mit der äußersten Sorgfalt ausgeführten Gradmessungen übertrifft der Durchmesser die Axe ohngefähr um $^1/_{300}$ (genauer $^1/_{299}$). Obschon die in verschiedenen Gegenden der Erde vorgenommenen Messungen zu keinem genau übereinstimmenden Resultate geführt haben, so scheint doch die Gestalt der Erde der eines Sphäroids sehr nahe zu kommen. — Man versteht aber unter einem Sphäroid einen Körper, welcher entsteht, wenn man eine Ellipse um ihre größte oder kleinste Axe dreht. In Betreff der Gestalt der Erde hat man sich eine Ellipse vorzustellen, deren große Axe AB (Fig. 7) die kleine CD nur um $^1/_{300}$ übertrifft, und sich dieselbe um die kleine Axe CD gedreht zu denken. Die bei dieser Umdrehung in gänzlicher Ruhe bleibenden Punkte C und D entsprechen den Polen und der von dem Punkte A oder B beschriebene Kreis entspricht dem Aequator der Erde.

(Fig. 7.)



Wie wir oben gesehen haben, muß die Schwere am Aequator sowohl wegen der aus der Axendrehung der Erde hervorgehenden Schwungkraft, als auch wegen der größeren Entfernung der Punkte des Aequators vom Mittelpunkte der Erde kleiner sein, als an den Polen. Wenn wir nach Anleitung der Anmerkung zu §. 18 die Linie ao in Fig. 5 berechnen, indem wir als Zeiteinheit eine Secunde annehmen, und diese Größe mit dem Fallraume für eine Secunde (15 Par. Fuß ohngefähr) vergleichen, so finden wir, daß die Schwungkraft am Aequator nahe dem 289. Theile der Schwere gleich ist. Nach §. 18 wächst die Schwungkraft, wenn die Umlaufszeit abnimmt, und zwar im umgekehrten quadratischen Verhältnisse. Nun ist 289 das Quadrat von 17, und es würde folglich die Schwungkraft am Aequator der Schwere gleichkommen, wenn sich die Erde 17mal rascher, also in der Zeit von ohngefähr 1,4 Stunden um ihre Axe drehte. Es würden dann die Körper am Aequator schwerlos, ohne Gewicht sein; bei noch rascherer Axendrehung aber würden alle losen Körper fortgeschleudert werden.

§. 20. Das Newton'sche Gravitationsgesetz.

Wenn wir uns von der Erde entfernen, so nimmt die Schwere ab und zwar im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde*), d. h. in einem Abstande vom Mittelpunkte, welcher dem doppelten, dreifachen Radius gleich ist, ist die Schwere nur der vierte, neunte Theil von der Schwere an der Oberfläche der Erde.

Newton hat dieses Gesetz zuerst für die Kraft nachgewiesen, mit welcher die Sonne die Planeten anzieht. Indem er nehmlich für die bereits bekannten Bahnen, welche die Planeten um die Sonne beschreiben, die Größe der Schwungkräfte (Centrifugalkräfte) berechnete, fand er, daß dieselben dem Quadrate der Abstände der Planeten von der Sonne umgekehrt proportional sind, und da nun die Schwungkraft (Centrifugalkraft) offenbar durch die anziehende Kraft der Sonne (Centripetalkraft) aufgehoben werden muß, damit der Planet sich nicht nach dem Trägheitsgesetze in gerader Linie fortbewege, sondern seine krummlinige Bahn um die Sonne beschreibe, so folgte hieraus, daß auch die Kraft, mit welcher die Sonne die Planeten anzieht, umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung des Planeten von der Sonne abnimmt.

*) Dieses Gesetz gilt jedoch nur für größere Entfernungen von der Erde; in der Nähe der Oberfläche bringt die abgeplattete Gestalt der Erde Abweichungen von diesem Gesetze hervor.

(Fig. 8.)

Newton untersuchte nun weiter (1682), ob dieses Gesetz auch für die Kraft gilt, mit welcher die Erde den Mond anzieht. Da nehmlich der Abstand des Mondes von der Erde ohngefähr 60 Erdhalbmessern gleich ist, so muß ein Körper in der Entfernung des Mondes von der Erde mit einer 3600mal schwächeren Kraft, als an der Oberfläche der Erde angezogen werden. Es wird daher ein von der Erde angezogener Körper in dieser Entfernung mit einer 3600mal geringeren Beschleunigung fallen müssen, als an der Erdoberfläche. Sind M und E (Fig. 8) die Mittelpunkte des Mondes und der Erde, MN der Bogen, welchen der Mond in einer Secunde durchläuft, und zieht man die Tangente MP und hiermit parallel NO, so giebt offenbar MO den Weg an, um welchen der Mond durch die anziehende Kraft der Erde von der geraden Linie MP, welche er ohne diese Kraft nach dem Trägheitsgesetze durchlaufen würde, abgelenkt worden ist. Berechnet man nun aus der bekannten Umlaufszeit des Mondes (27 Tage 8 Stunden ohngefähr) zunächst die Größe des Bogens MN und hieraus die Linie MO*), so findet man, daß sich dieselbe zu dem Fallraume eines Körpers an der Erdoberfläche (15 Par. Fuß) wie 1 : 3600 verhält, also umgekehrt wie die Quadrate der Entfernung des Mondes und eines Punktes an der Oberfläche der Erde vom Mittelpunkte der Erde. Die nehmliche Kraft also, welche den Stein zur Erde zieht, ist es zu Folge des Newton'schen Gesetzes auch, welche den Mond in seiner Bahn erhält.

Durch Vergleichung der Kraft, mit welcher der Mond von der Erde angezogen wird, mit der Kraft, mit welcher die Sonne die Erde oder einen anderen Planeten anzieht, kann man auf die Masse der Sonne schließen. Man findet hierdurch, daß die Masse der Sonne ohngefähr 360,000mal größer, als die Masse der Erde ist.

Zur Auffindung des Gravitationsgesetzes wurde Newton besonders durch die vorangegangenen Entdeckungen des großen Keppler in den Stand gesetzt. Keppler hatte nehmlich bereits gefunden (s. unten §. 42), daß sich die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten (t und t') wie die Kuben der mittleren Abstände von der Sonne (r und r') verhalten, also

$$1)\quad t^2 : t'^2 = r^3 : r'^3.$$

Nun sind aber nach §. 18 die Schwungkräfte k und k' den Radien direct und den Quadraten der Umlaufszeiten umgekehrt proportional; also

$$2)\quad k : k' = \frac{r}{t^2} : \frac{r'}{t'^2} = rt'^2 : r't^2 = (r : r') \cdot (t'^2 : t^2).$$

Nach (1) verhält sich $t'^2 : t^2 = r'^3 : r^3$.

Setzen wir diesen Werth von $t'^2 : t^2$ in (2) ein, so ergiebt sich

$$3)\quad k : k' = r'^2 : r^2,$$

d. h. die Schwungkräfte zweier Planeten und folglich auch die Kräfte, mit welchen dieselben von der Sonne angezogen werden, verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate ihrer mittleren Abstände von der Sonne.

§. 21. Ebbe und Fluth.

Daß auch umgekehrt der Mond die Erde anzieht, beweisen die Erscheinungen der Ebbe und Fluth. Man bemerkt nehmlich an der Küsten größerer Meere täglich ein zweimaliges Steigen (Fluth) und Fallen (Ebbe) des Meerwassers. Der Unterschied zwischen dem höchsten Stande bei der

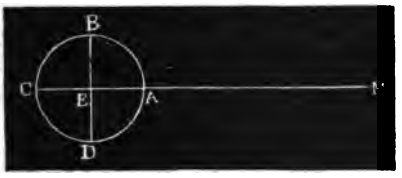
*) Setzen wir den Radius EM = EN = r und den Winkel MEN = α, so ist EO = r cos α und MO = r − r cos α = r (1 − cos α) = 2r sin $^1/_2\alpha^2$.

Fluth und dem niedrigsten bei der Ebbe ist für verschiedene Küsten sehr verschieden; er beträgt an den norddeutschen Küsten bei windstillem Wetter ohngefähr 12 Fuß. Die Fluth erreicht ihre größte Höhe, nachdem der Mond durch den Meridian des Ortes gegangen ist, und dann ohngefähr 12 Stunden später, wenn er diesem Punkte gegenüber steht. Die Ebbe und Fluth treten nicht immer zu derselben Tageszeit ein, sondern verspäten sich mit jedem folgenden Tage ohngefähr um 50 Minuten ganz eben so, wie die Durchgänge des Mondes durch den Meridian. Die Unterschiede zwischen dem höchsten Stande des Meerwassers bei der Fluth und dem tiefsten Stande bei der Ebbe sind beträchtlicher, wenn sich der Mond auf seiner elliptischen Bahn in der Erdnähe, als wenn er sich in der Erdferne befindet. Die höchsten Fluthen (Springfluthen) finden zur Zeit des Neu- und Vollmondes statt.

Diese Thatsachen lassen wohl keinen Zweifel, daß die Erscheinungen der Ebbe und Fluth ihre Entstehung wesentlich der anziehenden Kraft des Mondes verdanken.

Um diese Einwirkung des Mondes deutlicher einzusehen, erinnern wir zunächst daran, daß ohne die anziehende Kraft der Sonne die Erde zufolge des Trägheitsgesetzes in gerader Linie nach der Richtung der Tangente des Punktes ihrer Bahn, in welchem sie sich beim Aufhören dieser Anziehung gerade befände, fortgehen würde. Durch die anziehende Kraft der Sonne wird eine fortwährende Ablenkung von der geraden Linie, gleichsam ein beständiges Fallen gegen die Sonne hin veranlaßt, in Folge dessen die Erde eine elliptische Bahn beschreibt. Denken wir uns nun noch die anziehende Kraft des Mondes hinzutretend, so wird diese ebenfalls eine, wenn auch wegen der schwächeren Anziehungskraft des Mondes unvergleichlich kleinere, Ablenkung von der elliptischen Bahn, gleichsam ein geringes Fallen der Erde gegen den Mond hin herbeiführen. Ist M (Fig. 9) der Mittelpunkt des Mondes, E der Mittelpunkt der Erde und ABCD ein durch diese Punkte gehender Durchschnitt derselben, so wird offenbar der Punkt A, welcher den Mond im Zenith hat, stärker, der Punkt C, welcher den Mond im Nadir hat, schwächer angezogen, als der Mittelpunkt E. Denken wir uns nun die ganze übrige Erdmasse weg und nur die 3 Punkte A, E, C übrig bleibend, so wird A mit größerer, C mit geringerer Beschleunigung gegen den Mond hin fallen, als der Mittelpunkt E, und in Folge dieser Verschiedenheit sich der gegenseitige Abstand dieser Punkte von einander vergrößern. Aehnliches wird auch dann eintreten, wenn die Erde an ihrer Oberfläche mit einer Wasserschicht umgeben ist. Das Wasser wird in A und C wegen der verschiedenen Beschleunigung durch den Mond sich vom Mittelpunkte E entfernen, also steigen und in Folge hiervon bei B und D fallen. Diejenigen Gegenden, für welche der Mond im Zenith oder Nadir steht, werden also Fluth, und diejenigen, welche ihn im Horizonte erblicken, werden Ebbe haben, und da die Erde sich in 24 Stunden um ihre Axe dreht, so werden auch die angeführten Erscheinungen in dieser Zeit einen Umlauf um die Erde machen.

(Fig. 9.)



Ebbe und Fluth können sich jedoch nur in weit ausgedehnten Meeren zeigen und sind in Binnenmeeren, wie der Ostsee, dem Caspischen Meere und dgl. unmerklich. Denn da hier alle Theile der Oberfläche eine fast gleiche Anziehung durch den Mond erleiden, so kann das Wasser auf keiner Stelle derselben beträchtlich höher, als an einer andern Stelle stehen.

Nach dieser Darstellung müssen auch durch die anziehende Kraft der Sonne Ebben und Fluthen hervorgerufen werden; diese sind jedoch unvergleichlich schwächer, als die vom Monde bewirkten. Denn wenn auch die Erde von der Sonne weit stärker angezogen wird, so findet doch wegen der ungeheuren Entfernung der Sonne von der Erde zwischen der Kraft, mit welcher die der Sonne zugewendeten Theile der Erde, und der-

jenigen, mit welcher die abgewendeten angezogen werden, ein weit geringerer Unterschied statt, als bei der Anziehung durch den viel nähern Mond der Fall ist. — Bei den Neu- und Vollmonden vereinigen sich die von der Sonne bewirkten Fluthen mit den vom Monde hervorgebrachten Fluthen und verstärken dieselben. In Hinsicht der Neumonde ist die Richtigkeit dieser Behauptung an sich einleuchtend, da hier Sonne und Mond an der nehmlichen Seite der Erde sich befinden und daher beide in gleichem Sinne wirken. Für den Vollmond aber, bei welchem Sonne und Mond an entgegengesetzten Seiten der Erde stehen, ergiebt sich ein gleiches Resultat durch folgende Ueberlegung. Wie wir oben gesehen haben, hängt die Größe der Fluthen in A und C, Fig. 9, von dem Unterschiede der Anziehungen ab, welche diese Punkte vom Monde oder von diesem und der Sonne erleiden. Bezeichnen wir nun mit M die Kraft, mit welcher der nähere Punkt A vom Monde M angezogen wird, und mit M—m die Kraft, mit welcher der Mond auf den weiter entfernten Punkt C anziehend wirkt, ferner mit S die Anziehung, welche beim Vollmond die diesem gegenüberstehende Sonne auf den Punkt A ausübt, und mit S+s die Anziehung, welche der der Sonne nähere Punkt C von derselben erfährt, so ergeben sich als Resultirende der nach entgegengesetzten Richtungen wirkenden Anziehungen für den Punkt A die Differenz S—M, für den Punkt C aber S+s—(M—m)=S—M+s+m. Diese Resultirenden unterscheiden sich also beim Vollmond um die Größe s+m, während sich ohne die Wirkung der Sonne die Anziehungen, welche die Punkte A und C vom Monde allein erleiden würden, nur um die Größe m unterscheiden. Es wird daher beim Vollmonde, eben so wie beim Neumonde, die durch den Mond hervorgebrachte Fluth durch die Sonne verstärkt. Bei dem ersten und letzten Viertel dagegen treffen die von der Sonne bewirkten Ebben mit den Mondfluthen zusammen, und schwächen dieselben. Die Fluthen sind daher größer beim Neu- und Vollmonde, als bei dem ersten und letzten Viertel.

Die Verschiedenheit dieser Fluthen führt zu einer Vergleichung zwischen der anziehenden Kraft der Sonne und des Mondes, woraus sich auf die Masse des Mondes schließen läßt. Man hat auf diese Art gefunden, daß die Masse des Mondes ohngefähr dem 80sten Theile von der Masse der Erde gleich ist.

§. 22. Perturbationen der elliptischen Bahnen der Planeten.

So wie die Sonne, die Erde und der Mond sich gegenseitig anziehen, so ziehen auch die Planeten sich unter einander an. Diese gegenseitigen Anziehungen bewirken, daß die Planeten keine vollkommenen Ellipsen um die Sonne beschreiben, und da sie bei jedem Umlaufe ihre gegenseitigen Stellungen verändern, also auch verschieden auf einander einwirken, nie wieder genau denselben Weg durchlaufen, sondern immer abweichende Bahnen beschreiben, welche gleichsam in kleinen Schwankungen um eine vollkommene Ellipse oscilliren.

Diese Perturbationen sind jedoch, verglichen mit der eigentlichen elliptischen Bewegung, welche durch die anziehende Kraft der Sonne bewirkt wird, nur sehr klein, da die ungeheuere Masse der Sonne die Masse aller Planeten zusammen um mehr, als 800mal übertrifft. Irrig dagegen ist die Ansicht, daß die Planeten in festen, durchaus unveränderlichen Bahnen die Sonne umkreisen. In der Natur findet sich überhaupt nichts Bleibendes, Ruhendes; ewig unveränderlich ist nur die Macht und Liebe des Schöpfers.

Aus den Perturbationen des Uranus hat der Pariser Astronom Le Verrier mit ausgezeichnetem Scharfsinne das Vorhandensein und selbst den Ort eines noch jenseits des Uranus sich um die Sonne bewegenden, aber bis dahin noch unbekannten Planeten, des Neptun, hergeleitet, welcher wirklich nahe an der vorher verkündigten Stelle am 23. Septbr. 1846 aufgefunden worden ist.

Auf gleiche Weise ist vor Kurzem ein neuer Planet zwischen dem Merkur und der Sonne entdeckt worden.

So wie nach dem Newton'schen Gesetze die Kräfte, mit denen die Körper sich gegenseitig anziehen, mit der Entfernung rasch abnehmen, eben so müssen diese Kräfte nach demselben Gesetze mit der Annäherung stark wachsen, und sie müssen bei der unmittelbaren Berührung unvergleichlich am stärksten sein; und wirklich haben wir oben in §. 13 gesehen, daß die Theile der Körper bei der Berührung starke Anziehungen äußern, welche dagegen schon bei dem kleinsten wahrnehmbaren Abstande unmerklich werden. Wir können hiernach vermuthen, daß die Cohäsion, Adhäsion und Schwere nicht verschiedene Kräfte, sondern nur Modificationen ein und derselben Grundkraft sind.

Zweiter Abschnitt.

Von den mechanischen Erscheinungen fester Körper.

§. 23. Zusammensetzung der Kräfte, welche auf einen Punkt wirken.

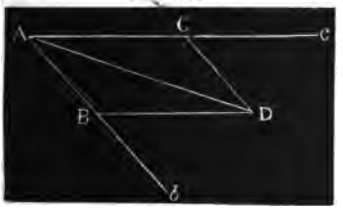
Wenn auf einen Punkt eines Körpers mehrere Kräfte wirken, so können sich dieselben entweder gegenseitig aufheben, z. B. zwei gleiche, nach entgegengesetzten Richtungen wirkende Kräfte, oder sie bringen eine Bewegung hervor. Im letzteren Falle ist es immer möglich, sich eine Kraft zu denken, welche allein im Stande ist, die nehmliche Bewegung hervorzubringen. Ein Beispiel, wo mehrere Kräfte zusammen eine Bewegung hervorbringen, ist ein Rammklotz, wie man dieselben zum Einrammen der Pfähle braucht. Dieses wird durch eine Menge Seile, die sich in einem Punkte vereinigen und an ihren Enden von einer großen Zahl Menschen angezogen werden, in die Höhe gehoben. Es ist klar, daß eine hinreichend große Kraft diese Bewegung allein hervorbringen würde. — Eine Kraft, welche allein das Nehmliche wirkt, als mehrere gegebene Kräfte zusammen, wird die Resultirende, auch Mittelkraft, und die gegebenen Kräfte werden Seitenkräfte genannt.

Wenn 2 Kräfte auf einen Punkt wirken, so können folgende Fälle stattfinden:

1) Wenn beide Kräfte nach der nehmlichen Richtung wirken, so ist die Resultirende der Summe der beiden gegebenen Kräfte gleich.

2) Wirken die beiden Kräfte nach gerade entgegengesetzten Richtungen, so ist die Resultirende dem Unterschiede der beiden gegebenen Kräfte gleich.

(Fig. 10.)



3) Wenn die beiden Kräfte, deren Richtungen und verhältnißmäßige Größen wir durch die Linien AB und AC (Fig. 10) darstellen, einen Winkel BAC einschließen, so wird die Resultirende gefunden, wenn man aus den Seitenkräften AB und AC das Parallelogramm ABDC vollendet und die Diagonale AD zieht. Diese zeigt sowohl die Richtung als auch die Größe der resultirenden Kraft an.

Um diesen Satz zu verdeutlichen, denken wir uns ein Schiff auf einem Flusse, welches zu gleicher Zeit durch einen von der Seite wehenden Wind und durch die Strömung des Flusses fortgetrieben wird. Nehmen wir nun an, daß der Wind allein das Schiff in einer bestimmten Frist von A nach B, die Strömung des Flusses aber ohne den Wind dasselbe in der nehmlichen Zeit von A nach C führen würde, so ist die Diagonale AD der Weg, welchen das Schiff in dieser Zeit wirklich zurücklegt, wenn es beiden Kräften zugleich unterworfen ist.

Aus den über die Bestimmung der resultirenden Kraft angeführten Sätzen folgt: — Die Resultirende zweier Kräfte ist niemals größer, als die Summe, und niemals kleiner, als die Differenz der gegebenen Kräfte. Sie

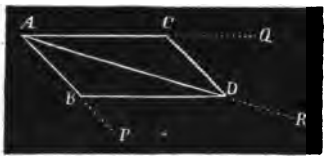
wird um so größer, je kleiner der Winkel ist, welchen die gegebenen Kräfte einschließen, und sie fällt um so kleiner aus, es geht um so mehr an Kraft verloren, je größer dieser Winkel ist. Sind die beiden gegebenen Kräfte einander gleich, so halbirt die Resultirende den Winkel, welchen dieselben einschließen. Sind die gegebenen Käfte ungleich, so fällt die Resultirende näher an die größere, als an die kleinere.

Wirken auf einen Punkt mehrere Kräfte, so wird die Resultirende gefunden, wenn man zwei Kräfte zu einer Mittelkraft verbindet, diese dann mit der dritten in eine vereinigt u. s. w.

Sollen drei Kräfte, welche auf einen Punkt wirken, sich das Gleichgewicht halten, so muß die Resultirende von zweien der dritten gerade gleich und entgegengesetzt sein.

Zur Erläuterung der Richtigkeit des oben aufgeführten wichtigen Satzes über das Parallelogramm der Kräfte kann Folgendes dienen: Es seien AB und AC (Fig. 11) die Wege, durch welche zwei auf den nehmlichen Punkt A wirkende Kräfte P und Q denselben führen würden, wenn jede dieser Kräfte für sich allein wirkte. Denken wir uns nun zunächst nur die Kraft P thätig, so wird der Punkt A die Linie AB durchlaufen, und nehmen wir dann weiter an, daß, nachdem derselbe in B angelangt ist, die Wirksamkeit der andern Kraft Q beginnt, so wird dieselbe den Punkt A durch den AC gleichen Weg BD führen. In Folge der Wirksamkeit beider Kräfte P und Q wird daher der Punkt A nach D geführt. Der nehmliche Erfolg muß aber offenbar auch dann stattfinden, wenn die beiden Kräfte P und Q nicht, wie wir angenommen haben, nach einander, sondern gleichzeitig thätig sind, nur mit dem Unterschiede, daß dann der Punkt A nicht die Seiten AB und BD, sondern die Diagonale AD des Parallelogramms ABDC durchläuft.

(Fig. 11.)



Für die mit der Trigonometrie vertrauten Leser fügen wir noch Folgendes hinzu: Ist α der von den Seitenkräften P und Q eingeschlossene Winkel BAC und R die Resultirende derselben, so ist in dem Dreiecke ABD

$$AD^2 = AB^2 + BD^2 - 2AB \cdot BD \cdot \cos ABD$$
$$= AB^2 + BD^2 + 2AB \cdot BD \cos \alpha,$$

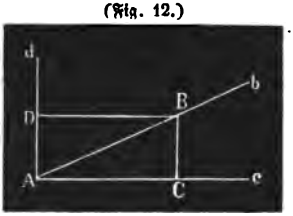
folglich, da sich die Kräfte P, Q und R wie die Linien AB, AC und AD verhalten:

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ \cos \alpha}.$$

§. 24. Zerlegung der Kräfte.

Häufig ist es auch der Fall, daß für eine Mittelkraft AB (Fig. 12) zwei Seitenkräfte von vorgeschriebener Richtung Ac und Ad gesucht werden, welche das Nehmliche leisten, als die eine gegebene Mittelkraft. Man findet die gesuchten Größen der Seitenkräfte, wenn man durch B mit Ac die Parallele BD und mit Ad die Parallele BC zieht. AC und AD sind die gesuchten Seitenkräfte, welche zusammen eben dasselbe leisten, als die eine Mittelkraft AB.

(Fig. 12.)



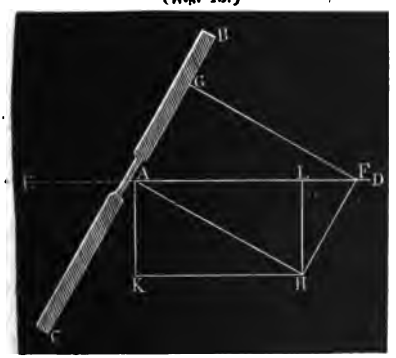
Den Nutzen dieser Aufgabe möge zunächst folgendes Beispiel erläutern: — Es sei Ac (Fig. 12) die Richtung eines Flusses, A der Schnabel eines Schiffes, welches an einer Leine Ab durch den Zug eines am Ufer gehenden Pferdes fortbewegt wird; ein im Schiffe stehender Ruderer bewirke durch eine in der Richtung Ad ausgeübte Kraft, daß das Schiff nicht gegen das Ufer hingetrieben

wird, ſondern der Richtung des Fluſſes Ac folgt. Es leuchtet ſogleich ein, daß hiernach nicht die ganze von dem Pferde ausgeübte Kraft, ſondern nur ein Theil derſelben für die Fortbewegung des Schiffes in Anwendung kommt. Um dieſen Theil zu finden, drücken wir die Kraft, welche das Pferd wirklich ausübt, durch AB aus und zerfällen dieſelbe in die beiden Seitenkräfte AC und AD, indem wir BD parallel zu Ac und BC parallel zu Ad ziehen. Die Linie AC giebt uns die verhältnißmäßige Größe der Kraft an, mit welcher das Schiff wirklich fortbewegt wird, und die Linie AD zeigt uns die Kraft an, welche der Ruderer anzuwenden hat, damit das Schiff nicht ſeitwärts gegen das Ufer getrieben wird.

Ein anderes Beiſpiel von der Zerlegung der Kräfte iſt folgendes: — Eine Kraft kann auf eine Fläche einen Druck niemals anders, als in ſenkrechter Richtung hervorbringen. Der Druck, welchen eine ſchief wirkende Kraft ausübt, iſt niemals der vollen Größe der Kraft, ſondern immer nur einem Theile derſelben gleich, welcher ſich auf folgende Art finden läßt. Es ſei Ac, Fig. 12, eine ebene Fläche, AB eine ſchief wirkende Kraft (z. B. die Kraft eines Waſſer- oder Luftſtromes). Um den Druck zu beſtimmen, welchen dieſe Kraft auf die Fläche Ac ausübt, zerlegen wir dieſelbe in die beiden Seitenkräfte AC und AD, von denen AC der ebenen Fläche parallel und AD auf derſelben ſenkrecht iſt. AD zeigt die Größe des wirklich ausgeübten Druckes an; (AC aber mißt die Kraft, mit welcher die Waſſer- oder Luftheilchen längs der Fläche Ac fortbewegt werden). — Der Druck AD iſt um ſo größer, je größer der Neigungswinkel BAC iſt, und derſelbe iſt der vollen Größe der Kraft AB gleich, wenn dieſe auf der ebenen Fläche Ac ſenkrecht ſteht.

Auf dieſe Art läßt ſich der Druck beſtimmen, welchen die Strömung des Waſſers auf das ſchief geſtellte Steuerruder eines Schiffes, der Wind auf die ſchief geſtellten Segel eines Schiffes oder auf die Flügel einer Windmühle ausübt. Dieſe letztern ſind allemal ſo geſtellt, daß ihre Axe in die Richtung des Windes fällt, und die Flügel ſelbſt von dem Winde in ſchiefer Richtung getroffen werden. Wird nun z. B. der ſenkrecht in die Höhe gerichtete Flügel nach der rechten Seite hin vom Winde gedrückt, ſo erleidet der nach unten gerichtete Flügel einen Druck nach der linken Seite, ſo daß beide die Axe in demſelben Sinne zu drehen ſtreben.

(Fig. 13.)

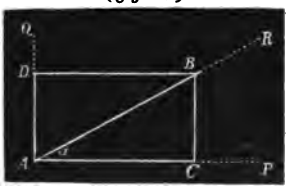


Es ſei BC (Fig. 13) der wagerechte Durchſchnitt eines Windmühlenflügels und AD die Richtung des Windes; dann iſt die Verlängerung dieſer Linie AE der Axe, an welcher die Flügel befeſtigt ſind, parallel. Um nun den ſenkrechten Druck zu finden, welchen der Wind auf den Flügel BC ausübt, drücken wir die Kraft deſſelben durch die Linie AF aus und ziehen FG und AH ſenkrecht auf BC, FH aber parallel mit BC; dann giebt die Linie AH die Größe des vom Winde ſenkrecht ausgeübten Druckes an. Der Punkt A kann jedoch der Richtung dieſes Druckes nicht unmittelbar folgen, ſondern ſich nur in einer auf der Linie DE ſenkrechten Richtung fortbewegen. Um die Größe der Kraft zu finden, mit welcher der Punkt A in dieſer Richtung fortge-

trieben wird, zerlegen wir AH nochmals in zwei Seitenkräfte, indem wir AK und HL senkrecht auf DE und HK parallel mit DE ziehen. Dann giebt AK die Größe der Kraft an, mit welcher der Wind den Flügel antreibt, sich um die Axe, an welcher derselbe befestigt ist, zu drehen.

Wenn wir uns über AF als Durchmesser einen Halbkreis beschrieben denken, so muß dieser durch den Punkt H gehen, da Winkel AHF ein rechter ist. Es ist daher die Linie LH und also auch AK dann am größten, wenn der Punkt L in den Mittelpunkt des Halbkreises fällt und folglich LH = AL, also Winkel LAH = 45° = LAG ist. Damit die größte Wirkung erzielt werde, müssen hiernach die Flügel an der Drehungsaxe so angebracht sein, daß ihre Ebenen mit derselben Winkel von 45° bilden.

(Fig. 14.)



Ganz ähnliche Betrachtungen würden sich auch über das Steuerruder einer sogenannten fliegenden Brücke anstellen lassen.

Wenn überhaupt eine Kraft AB = R (Fig. 14) in zwei aufeinander senkrechte Seitenkräfte AC = P und AD = Q zerfällt wird, und Winkel BAC = α ist, so ist P = R cos α und Q = R sin α.

§. 25. Zusammensetzung und Zerlegung paralleler Kräfte.

Wenn zwei Kräfte an verschiedenen Punkten eines festen Körpers angebracht sind, aber die verlängerten Richtungen derselben sich schneiden, so kann man die Resultirende ganz eben so, wie oben gezeigt ist, durch das Parallelogramm der Kräfte bestimmen. Dieses Verfahren leidet jedoch keine Anwendung, wenn die Richtungen der Kräfte parallel laufen. — Wirken auf einen festen Körper zwei parallele Kräfte P und Q (Fig. 15) nach derselben Seite, so ist die Resultirende gleich der Summe der beiden gegebenen Kräfte P + Q. Sind diese einander gleich, so liegt der Angriffspunkt C der Resultirenden in der Mitte zwischen A und B. Sind die gegebenen Kräfte ungleich, so theilt der Angriffspunkt C der Resultirenden die Entfernung AB der Angriffspunkte der beiden gegebenen Kräfte in zwei Stücke AC und BC, welche sich umgekehrt wie die gegebenen Kräfte verhalten, also: AC : BC = Q : P.

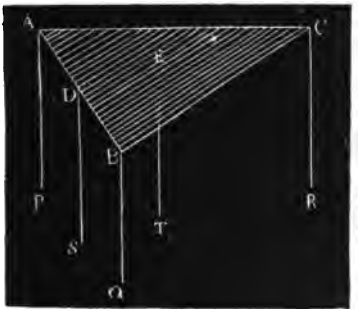
(Fig. 15.)

Der Punkt C liegt folglich näher bei der größeren Kraft, also näher bei P, wenn P größer, als Q ist. — Man nennt diesen Punkt C, in welchem die Richtung der Resultirenden die Verbindungslinie AB der Angriffspunkte A und B der gegebenen Kräfte durchschneidet, den Mittelpunkt der beiden parallelen Kräfte.

Umgekehrt läßt sich die Mittelkraft P + Q durch die beiden parallelen Seitenkräfte P und Q ersetzen. Diese sind einander gleich, wenn AC = BC ist; ist aber AC kleiner, als BC, so ist P in dem Verhältnisse größer, als Q, in welchem AC kleiner, als BC ist. — Wenn z. B. zwei Menschen an den Enden einer Stange AB (von deren Gewicht wir hier abstrahiren), eine in C aufgehängte Last tragen, so hat derjenige den größeren Theil zu tragen, welchem die Last am nächsten ist.

Wirken auf einen festen Körper drei parallele Kräfte, z. B. in den Punkten A, B und C, Fig 16, die Kräfte P = 3, Q = 4 und R = 5, so lassen sich zunächst zwei derselben, P und Q, in eine Resultirende S = P + Q = 7 vereinigen; und man findet den Mittelpunkt D dieser Kraft, wenn man

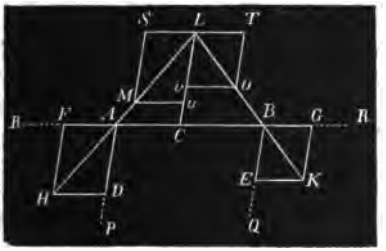
(Fig. 16.)



die Linie AB in D so theilt, daß sich AD : BD = Q : P = 4 : 3 verhält. — Wenn man nun die Kraft S mit der Kraft R zu einer Resultirenden T = S + R = 12 verbindet und, um den Angriffspunkt E derselben zu finden, die Linie CD in E so theilt, daß sich CE : DE = S : R = 7 : 5 verhält, so wird die in E angebrachte Kraft T = 12 das Nehmliche bewirken, als die drei parallelen Kräfte P, Q und R zusammen. — Der Punkt E heißt der **Mittelpunkt** dieser Kräfte.

Man sieht hiernach leicht, wie man zu verfahren hätte, wenn die Resultirende und der Mittelpunkt für 4 und mehr parallele Kräfte gefunden werden sollte.

(Fig. 17.)



Das Gesetz über die Resultirende zweier parallelen Kräfte kann aus dem Satze über das Parallelogramm der Kräfte in folgender Art abgeleitet werden: Wenn wir die Angriffspunkte A und B, Fig. 17, der beiden parallelen Kräfte P und Q, deren beziehliche Größe wir durch die Linien AD und BE ausdrücken, uns durch die Linie AB verbunden und hierauf in A und B zwei beliebige, aber gleiche Kräfte R und R, welche durch die Linien AF und BG dargestellt sein mögen, in der Richtung der verlängerten Linie AB angebracht denken, so heben sich diese beiden Kräfte, da sie einander gleich und entgegengesetzt sind, gegenseitig auf. Es müssen daher die vier Kräfte R, R, P und Q die nehmliche Resultirende wie die beiden Kräfte P und Q haben. Die Resultirende der vier Kräfte R, R, P und Q aber sind wir im Stande mit Hilfe des Satzes vom Parallelogramm der Kräfte zu finden. Wir vereinigen zu diesem Zwecke P und R in die Mittelkraft AH und Q und R in die Mittelkraft BK. Da sich die verlängerten Linien AH und BK in dem Punkte L durchschneiden, so wird es uns freistehen, die durch AH und BK vorgestellten Kräfte in den Punkt L zu verlegen. Wir machen demgemäß LM = AH und LO = BK und haben nun nur noch die Resultirende von LM und LO zu suchen. Wir gelangen hierzu am bequemsten, wenn wir durch L die Linie ST parallel AB und LC parallel AD ziehen. Dann wird es uns wiederum freistehen, die Mittelkraft LM durch zwei Seitenkräfte LS = AF und LU = AD und die Mittelkraft LO durch zwei Seitenkräfte LT = BG und LV = BE zu ersetzen. Da die einander gleichen und entgegengesetzten Kräfte LS und LT sich aufheben, so ist die gesuchte Resultirende gleich der Summe der beiden Kräfte LU = P und LV = Q, und sie hat, da LC parallel AD ist, mit denselben gleiche Richtung. Es ist daher nur noch übrig, die Lage des Punktes C, in welchem die Resultirende die Linie AB durchschneidet, zu bestimmen. Da MU und VO parallel AB sind, so verhält sich

AC : CL = MU : LU = R : P

und BC : CL = OV : LV = R : Q.

Demnach ist AC . P = CL . R = BC . Q;

und es verhält sich folglich P : Q = BC : AC.

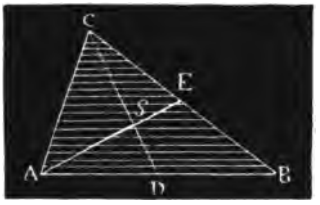
§. 26, a. Schwerpunkt.

In jedem schweren Körper giebt es einen Punkt, bei dessen Unterstützung der Körper ruht; dieser Punkt heißt der **Schwerpunkt**. Um zu einem klaren Verständniß der Richtigkeit dieses Satzes zu gelangen, dient Folgendes:

Man kann die Schwere eines Körpers als die Summe der Anziehungen ansehen, welche alle materiellen Theile desselben von der Erde erleiden. Obschon die Richtungen dieser anziehenden Kräfte gegen den Mittelpunkt der Erde hin convergiren, so kann man doch wegen der großen Entfernung des Mittelpunktes der Erde die Richtungen der Kräfte, mit welchen die verschiedenen Punkte eines Körpers auf der Erde von derselben angezogen werden, als parallel annehmen. Man kann daher die Schwere eines Körpers als die Resultirende und den Schwerpunkt als den Mittelpunkt dieser parallelen Kräfte ansehen und im Schwerpunkte sich die ganze Schwere eines Körpers vereinigt denken. Es folgt hieraus, daß ein Körper nur so lange ruhen kann, als sein Schwerpunkt unterstützt ist.

Der Schwerpunkt einer Kugel, in welcher die Masse gleichförmig vertheilt ist, liegt offenbar im geometrischen Mittelpunkt derselben, der Schwerpunkt eines gleichförmigen Stabes in dessen Mitte. Der Schwerpunkt eines materiellen Dreiecks (eines dreieckigen Brettes) ABC (Fig. 18) wird gefunden, wenn man die Mitten zweier Seiten D und E mit den gegenüberliegenden Ecken C und A verbindet. Der Durchschnittspunkt S dieser Verbindungslinien ist der gesuchte Schwerpunkt. Denn wenn man sich das Dreieck ABC durch Linien parallel zu AB gezogen in sehr schmale Streifen getheilt denkt, so werden diese Streifen sämmtlich durch CD halbirt. In der Linie CD müssen daher die Schwerpunkte aller Streifen und folglich auch der Schwerpunkt des Dreiecks liegen. Eben so findet man, daß derselbe in der Linie AE liegt. Er muß folglich im Durchschnittspunkte S liegen. — Der Punkt S ist doppelt so weit von der Spitze, als von der Grundlinie entfernt (DS = $^1/_2$CS).

(Fig. 18.)



Der Schwerpunkt eines beliebigen Vielecks wird gefunden, wenn man dasselbe durch Diagonalen in Dreiecke zerschneidet, die Schwerpunkte und Gewichte der einzelnen Dreiecke bestimmt, diese Gewichte als parallele Kräfte ansieht und nach Anleitung des vorhergehenden Paragraphen den Mittelpunkt derselben sucht.

Der Schwerpunkt eines Kreises oder eines kreisförmigen Ringes liegt im Mittelpunkte desselben, der Schwerpunkt eines Parallelogramms im Durchschnittspunkte der beiden Diagonalen.

Der Schwerpunkt einer dreiseitigen Pyramide wird erhalten, wenn man die Schwerpunkte zweier Dreiecke sucht, welche die Pyramide begrenzen und diese Punkte mit den gegenüberliegenden Ecken verbindet. Der Durchschnittspunkt dieser Verbindungslinien ist aus ähnlichen Gründen, wie für das Dreieck angegeben sind, der gesuchte Schwerpunkt. — Derselbe ist von der Spitze dreimal so weit entfernt, als von der Grundfläche. — Dasselbe gilt von der mehrseitigen Pyramide und vom Kegel.

Der Schwerpunkt eines Cylinders liegt in der Mitte seiner Axe.

Da alle eckigen Körper sich in Pyramiden zerfällen lassen, so ist man durch das Vorhergehende in den Stand gesetzt, ihre Schwerpunkte auf theoretischem Wege zu bestimmen.

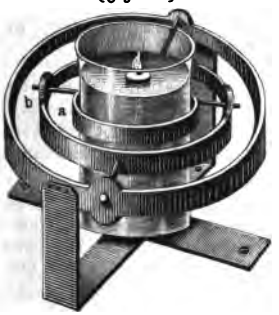
Praktisch wird der Schwerpunkt eines Körpers gefunden, wenn man denselben an zwei beliebigen Stellen an einem Faden aufhängt. Da der Schwerpunkt, wenn der Körper zur Ruhe gekommen ist, jedesmal in der verlängerten Richtung des Fadens liegt, so schneiden sich diese Verlängerungen in dem gesuchten Schwerpunkte.

§. 26. b. Fortsetzung.

Wenn ein Körper in einem einzigen Punkte unterstützt ist, so müssen für den Fall des Gleichgewichts der Schwerpunkt und der unterstützte Punkt in einer lothrechten Linie liegen. Wir unterscheiden hier folgende Fälle:

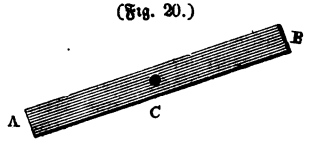
1) Wenn der unterstützte Punkt senkrecht über dem Schwerpunkte liegt, wie dies bei einem aufgehängten Körper der Fall ist, so strebt der Körper bei einer kleinen Verrückung von selbst in diese Lage zurückzukehren, und man sagt dann, der Körper befinde sich im stabilen Gleichgewichte.

(Fig. 19.)



Dieses Princip findet unter anderen bei der Schiffslampe Anwendung, welche in zwei Ringen aufgehängt ist. Der innere Ring, welcher die Lampe selbst trägt, ist um zwei am äußern Ringe befestigte Stifte (Fig. 19) drehbar, und der äußere Ring ist eben so um zwei andere Stifte beweglich, welche sich mit jenen rechtwinkelig kreuzen und an einem größeren, das Ganze umschließenden Ringe befestigt sind.

(Fig. 20.)



2) Fällt der Unterstützungspunkt in den Schwerpunkt, so ruht der Körper in jeder Lage. Man kann dies an einem Rade sehen, welches sich um eine wagerecht liegende Axe drehen läßt. Aber auch jeder andere Körper, z. B. der längliche Körper AB (Fig. 20), welcher um eine wagerechte Axe drehbar ist, muß ruhen, wenn diese Axe gerade durch den Schwerpunkt C geht, da in diesem Falle keine der beiden Hälften AC oder BC ein Uebergewicht haben kann. Man nennt diesen Fall indifferentes Gleichgewicht.

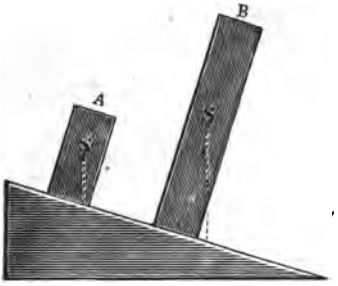
3) Wenn der Unterstützungspunkt lothrecht unter dem Schwerpunkte liegt, z. B. wenn man einen Körper auf einer feinen Spitze balancirt, so kann der Körper zwar in dieser Lage ruhen, aber er verändert dieselbe bei der kleinsten Verrückung gänzlich; man sagt daher, der Körper befinde sich im labilen Gleichgewichte.

Soll ein von unten unterstützter Körper mit Stabilität ruhen, so müssen im Allgemeinen*) wenigstens drei Punkte desselben, welche nicht in gerader Linie liegen, unterstützt sein, und eine lothrechte Linie durch den Schwerpunkt

*) Es giebt indeß auch Fälle, wo Körper nur in einem einzigen Punkte unterstützt sind und mit Stabilität ruhen, z. B. eine Halbkugel, welche mit der nach unten gewendeten krummen Fläche auf einer horizontalen Unterlage ruht.

gezogen, muß durch die Fläche des Dreiecks gehen, welches diese drei Punkte bestimmen. Eben so muß, wenn ein Körper mit einer ganzen Fläche auf einer Unterlage mit Stabilität ruhen soll, eine durch den Schwerpunkt gezogene lothrechte Linie die unterstützte Fläche durchschneiden. — Der Körper A (Fig. 21), welcher von der schiefen Unterlage CD getragen wird, ruht auf derselben mit Stabilität, weil das durch den Schwerpunkt S gezogene Loth die unterstützte Fläche durchschneidet; der Körper B muß dagegen umfallen, weil für denselben diese Bedingung nicht erfüllt ist. — Ein hoch beladener Wagen, überhaupt Körper, deren Schwerpunkt hoch liegt, fallen unter übrigens gleichen Umständen leichter um, als solche, deren Schwerpunkt niedrig liegt.

(Fig. 21.)



Die Stabilität eines Körpers wird gemessen durch eine wagerechte Kraft, welche man sich im Schwerpunkt desselben angebracht denkt, und die eben im Stande ist, den Körper umzuwerfen. Dieselbe ist um so größer, je größer das Gewicht des Körpers ist, je tiefer sein Schwerpunkt liegt, und je weiter derselbe — in gleicher Richtung mit der gedachten Kraft — vom Rande der unterstützten Fläche entfernt ist.

Bei einem aufrecht stehenden Menschen fällt der Schwerpunkt ohngefähr in die Mitte des Unterleibes; eine lothrechte Linie senkrecht durch den Schwerpunkt gezogen muß das Trapez durchschneiden, welches die Füße bestimmen. Die Stabilität eines Menschen ist daher um so größer, je weiter die Füße auseinander stehen. Läuft ein Mensch Gefahr nach der linken Seite hin zu fallen, so sucht er durch Aufheben des rechten Armes den Schwerpunkt wieder über jenes Trapez zu bringen. Eben so hält der Seiltänzer die Balancierstange nach der Seite, welche der entgegengesetzt ist, nach welcher er Gefahr läuft zu fallen, um den Schwerpunkt wieder über das Seil zu bringen. Trägt ein Mensch an einer Seite eine Last, so fällt der gemeinschaftliche Schwerpunkt des Menschen und der Last mehr nach dieser Seite, und er muß sich daher mehr nach der entgegengesetzten Seite neigen, um den Schwerpunkt senkrecht über die Fläche zu bringen, welche zwischen seinen Füßen liegt. — Beim Gehen wird durch Aufheben und Vorwärtsbewegen des einen Fußes und durch Vorwärtsneigen des Oberleibes das Gleichgewicht aufgehoben, und der ganze Körper fängt an, nach vorn hin zu fallen, bis er am weiteren Fallen durch das Niedersetzen des aufgehobenen Fußes verhindert wird. Indem wir dasselbe abwechselnd mit dem einen und dem andern Fuße wiederholen, ist unser Gehen ein beständiges Fallen von einem Fuß auf den andern.

Die Kunst des Balancirens besteht darin, den unterstützten Punkt beständig in lothrechter Linie unter den Schwerpunkt des balancirten Körpers zu halten oder bei einer Abweichung wieder unter denselben zu bringen. — Es ist leichter einen rotirenden, als einen ruhenden Körper zu balanciren, weil bei jenem der Schwerpunkt einen Kreis beschreibt, und um das Umfallen zu verhindern, bei rascher Rotation fast nur erforderlich ist, daß der unterstützte Punkt senkrecht unter der Fläche dieses Kreises liegt. — Schwere Körper sind leichter zu balanciren, als leichte, weil jene einen stärkeren Druck auf die Unterlage, z. B. die Fingerspitze, ausüben, und daher eine Veränderung dieses Druckes leichter empfunden wird. — Ein Körper ist leichter zu balanciren, wenn sein Schwerpunkt hoch liegt, als wenn er niedrig liegt, weil dann beim Umfallen der Schwerpunkt einen größeren Bogen beschreibt, wozu — ganz ähnlich wie bei einem längern Pendel — auch eine längere Zeit erforderlich ist.

Verschiedene Spielereien, wie z. B. der Mann mit der Säge, das chinesische Burzelmännchen u. a. m. finden ihre leichte Erklärung in den Gesetzen des Schwerpunktes; — ferner folgender Versuch: Eine kleine Geldmünze läßt sich leicht auf einer Nadelspitze balanciren, wenn man auf die Münze einen Kork setzt, in welchen man einander gegenüber zwei schief abwärts gerichtete Gabeln gesteckt hat.

§. 27. Maschine.

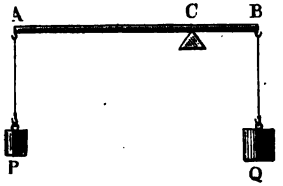
Eine Kraft kann unmittelbar nur auf einen in ihrer Richtung liegenden Punkt wirken. Die Kolbenstange eines Dampfcylinders kann unmittelbar nur einen in der Richtung der Stange liegenden Körper in Bewegung setzen. Soll durch dieselbe irgend ein Körper bewegt werden, welcher sich außerhalb dieser Richtung befindet, so bedarf es hierzu einer besonderen Vorrichtung, des Balancirers, des Schwungrades u. s. w. *Eine jede Vorrichtung, vermittelst deren eine Kraft auf einen außerhalb ihrer Richtung liegenden Punkt wirkt, heißt eine Maschine.* Man unterscheidet *einfache* und *zusammengesetzte* Maschinen. Zu den *einfachen Maschinen* rechnet man: den *Hebel*, die *Rolle*, das *Wellrad*, die *schiefe Ebene*, den *Keil* und die *Schraube*. Alle anderen Maschinen sind aus diesen zusammengesetzt.

Bei sehr vielen Maschinen wird an Kraft gewonnen; dieß ist jedoch, wie wir bald weiter unten sehen werden, keineswegs immer der Fall. — Von allen Maschinen ohne Ausnahme aber gilt das Gesetz: *So viel an Kraft gewonnen wird, eben so viel geht am Wege verloren*; d. h. so viel mal die Last größer ist, als die Kraft, welche ihr das Gleichgewicht hält, eben so viel mal ist bei entstehender Bewegung der Weg, welchen die Last beschreibt, kleiner, als der Weg, welchen die Kraft durchläuft. Die folgenden Angaben über die einzelnen Maschinen werden durchgehends dieses Gesetz bestätigen. Bei der praktischen Anwendung desselben zur Berechnung des wirklichen Effectes irgend einer bestimmten Maschine hat man jedoch nicht außer Acht zu lassen, daß ein großer Theil dieses Effectes durch die Reibung verloren geht.

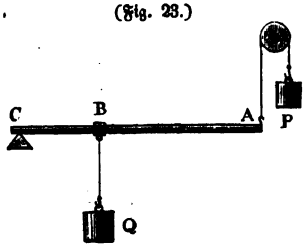
§. 28. Hebel.

Ein *Hebel* ist eine unbiegsame Stange, welche sich um einen festen Punkt drehen läßt, und an welcher in willkührlichen Punkten Kräfte angebracht sind, welche die Stange zu drehen streben. Um das Gesetz des Hebels in seiner größten Einfachheit vortragen zu können, wollen wir uns die Hebelstange selbst für's Erste ohne Schwere denken. Man nennt einen solchen Hebel einen *mathematischen* zum Unterschiede von dem wirklichen oder *physischen* Hebel. — Weiter wollen wir zunächst annehmen, daß auf einen Hebel nur zwei Kräfte P und Q, Fig. 22, wirken. Da ferner der Hebel, wie schon sein Name sagt, häufig dazu angewendet wird, Lasten zu heben, so wollen wir die eine Kraft Q die Last, die andere P vorzugsweise die Kraft nennen. Wenn Kraft und Last an entgegengesetzten Seiten vom Unterstützungspunkte angebracht sind, so heißt der Hebel *zweiarmig*, Fig. 22; liegen aber beide an derselben Seite vom Unterstützungspunkte, Fig. 23, so wird der Hebel *einarmig* genannt. Man unterscheidet ferner *geradlinige*, *Winkel-* und *krummlinige* Hebel, je nachdem die Hebelarme eine gerade Linie oder einen Winkel bilden oder aus krummen Linien

(Fig. 22.)



(Fig. 23.)



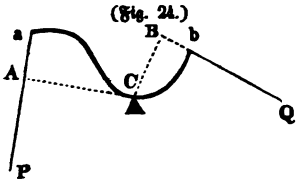
bestehen. — Von allen Arten von Hebeln aber gilt das Gesetz: **Am Hebel ist das Gleichgewicht vorhanden, wenn sich Kraft und Last umgekehrt verhalten, wie ihre senkrechten Entfernungen vom Unterstützungspunkte**, also wenn sich verhält $P : Q = BC : AC$.

Wenn also z. B. AC dreimal so groß ist, als BC, so wird man der Last Q mit einer dreimal kleinern Kraft P das Gleichgewicht zu halten im Stande sein. — Soll aber die Last Q durch die Kraft P wirklich gehoben werden, so wird die Kraft P einen dreimal so großen Weg zu durchlaufen haben, als die Last Q.

Das so eben ausgesprochene Gesetz ist offenbar nur eine besondere Anwendung des in §. 25 aufgestellten Gesetzes über die Zusammensetzung und Zerfällung paralleler Kräfte.

Wenn die Arme eines Hebels nicht geradlinig sind, oder die Kräfte P und Q auf dieselben in schiefen Richtungen wirken, so hat man nicht die Hebelarme aC und bC, Fig. 24, sondern die aus dem Unterstützungspunkte C auf die Richtungen der Kräfte oder ihre Verlängerungen gefällten Lothe AC und BC als die Entfernungen der Kräfte vom Unterstützungspunkte anzusehen. Auch hier gilt für den Fall des Gleichgewichtes die Proportion $P : Q = BC : AC$.

(Fig. 24.)



Da in jeder Proportion das Product der äußeren Glieder gleich ist dem Producte der inneren Glieder, so läßt sich die vorstehende Proportion

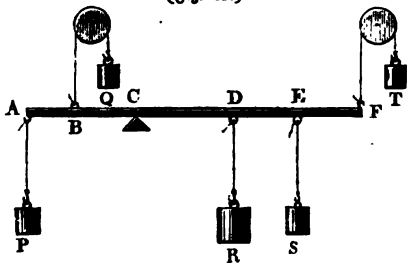
$$P : Q = BC : AC$$

auch so schreiben

$$P \,.\, AC = Q \,.\, BC.$$

Man nennt das Product aus der Kraft in ihre senkrechte Entfernung vom Unterstützungspunkte das **statische Moment**. Hiernach läßt sich das Gesetz vom Hebel auch so aussprechen: — **Am Hebel ist das Gleichgewicht vorhanden, wenn die statischen Momente gleich sind.**

(Fig. 25.)



Wirken auf einen Hebel mehr als zwei Kräfte, z. B. auf den Hebel AF, Fig. 25, die Kräfte P, Q, R, S und T, von denen P und T den Hebel nach der einen Seite, Q, R und S aber nach der entgegengesetzten Seite zu drehen streben, so findet das Gleichgewicht statt, wenn die Summe der statischen Momente der Kräfte, welche den Hebel nach der einen Seite zu drehen streben, gleich ist der Summe der statischen Momente der Kräfte, welche den Hebel nach der andern Seite zu drehen streben, also:

$$P \,.\, AC + T \,.\, CF = Q \,.\, BC + R \,.\, CD + S \,.\, CE.$$

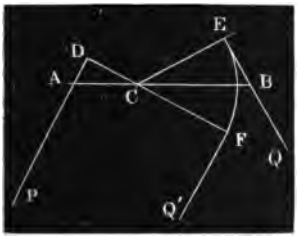
Die bisher für den schwerlosen oder **mathematischen** Hebel entwickelten Gesetze haben für den wirklichen oder **physischen** Hebel nur dann volle Gültigkeit, wenn derselbe in seinem Schwerpunkte unterstützt ist. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so hat man das Gewicht des Hebels als eine im

Schwerpunkte wirkende Kraft anzusehen und das statische Moment derselben mit in Rechnung zu bringen.

Der Hebel findet unzählige Anwendungen. Beispiele sind: die Zange, Scheere, die gemeine Wage, bei welcher Kraft und Last einander gleich sein müssen, weil die Hebelarme eine gleiche Länge haben; die Schnellwage, bei welcher die abzuwägende Last am kürzern Hebelarme hängt und durch ein bewegliches Gewicht am längern Hebelarme ins Gleichgewicht gebracht wird; die Thürklinke, der Schlüssel, Bohrer, der Hebebaum, die Heckselschneide u. s. w.

Das Gesetz über das Gleichgewicht am Hebel läßt sich in voller Allgemeinheit aus dem Satze über die Zusammensetzung paralleler Kräfte in folgender Art ableiten: Wenn auf den in C unterstützten Hebel AB, Fig. 26, zwei Kräfte P und Q wirken, so muß für den Fall des Gleichgewichtes die Resultirende dieser Kräfte offenbar durch C gehen. Fällen wir aus C auf die verlängerten Richtungen der Kräfte P und Q die Senkrechten CD und CE, beschreiben wir ferner um C mit CE einen Kreis, welcher die verlängerte Linie CD in F schneidet und denken uns dann in F senkrecht auf CF eine Q gleiche Kraft Q′ angebracht, so sieht man leicht ein, daß diese Kraft am Hebel ganz die nehmliche Wirkung wie die Kraft Q, mit welcher sie gleiche Größe und gleichen Abstand vom Drehungspunkte C hat, hervorbringen muß. Wir werden daher die Kraft Q durch die Kraft Q′ ersetzen können. Sollen aber die Kräfte P und Q′ im Gleichgewichte sein, also die Resultirende derselben durch C gehen, so muß sich nach §. 25 verhalten:

(Fig. 26.)



$$P : Q' = CF : CD,$$

oder da $CF = CE$ und $Q' = Q$ ist:

$$P : Q = CE : CD.$$

* §. 29. Wage.

Die Wage besteht aus dem Wagebalken, der Zunge und den Schalen. Die Erfordernisse einer guten Wage sind:

1) Bei gleicher Belastung der Wagschalen muß der Wagebalken in horizontaler Lage mit Stabilität ruhen. Diese Bedingung wird erfüllt, wenn bei horizontaler Lage des Wagebalkens der Schwerpunkt desselben in lothrechter Linie unter dem Unterstützungspunkte liegt.

2) Eine gute Wage muß empfindlich sein, d. h. bei einem kleinen Uebergewichte auf einer Seite einen verhältnißmäßigen Ausschlag geben. Die Empfindlichkeit einer Wage hängt ab von der Reibung am Drehungspunkte und von der Tiefe des Schwerpunktes des Wagebalkens unter dem Drehungspunkte. Die Wage ist um so empfindlicher, je weniger tief dieser Schwerpunkt unter dem Drehungspunkte liegt. Fielen jedoch diese Punkte zusammen, so würde die Wage allzu empfindlich sein; sie würde nehmlich bei dem geringsten Uebergewichte auf einer Seite, welches im Stande ist, die Reibung zu überwinden, gänzlich ausschlagen. Eine brauchbare Wage muß der Lage des Gleichgewichts sich allmählich nähern, so wie durch Hinzufügung von Gewichten auf der einen Seite die Belastungen der beiden Wagschalen allmählich einander gleich gemacht werden.

Man schätzt die Empfindlichkeit einer Wage nach demjenigen aliquoten Theile der Belastung, bei welchem die Wage noch einen Ausschlag giebt. Eine gute Wage, wie sie der Physiker gebraucht, muß wenigstens noch ein 30,000tel der Belastung anzeigen, also bei 1 ℔ Belastung noch für

1 Korn (s. die Anmerk.) einen Ausschlag geben. Geschickte Künstler haben Wagen mit einer Empfindlichkeit von 1 Zwölfmillionfel konstruirt.

3) Die Wage muß richtig sein. Diese Bedingung wird erfüllt, wenn beide Arme des Wagebalkens gleiche Länge, gleiche statische Momente und die Wagschalen gleiches Gewicht haben. Man überzeugt sich von der Richtigkeit einer Wage, wenn dieselbe 1) ohne alle Belastung im Gleichgewichte steht, und 2) eine willkührliche Last in der einen Schale, welche mit Gewichten in der andern Schale ins Gleichgewicht gebracht ist, sich mit diesem Gewicht ohne Störung des Gleichgewichts vertauschen läßt.

Man kann indeß auch mit einer Wage, welche nicht vollkommen richtig ist, wenn dieselbe nur empfindlich ist, genaue Abwägungen vornehmen. Man legt nehmlich den abzuwägenden Körper A in die eine Wagschale und in die andere irgend willkührliche Gewichte B, bis das Gleichgewicht hergestellt ist, nimmt dann A aus der ersten Wagschale heraus und legt in dieselbe so lange Gewichte C, bis das Gleichgewicht mit B wieder hergestellt ist. Dann ist das Gewicht von A gleich C.

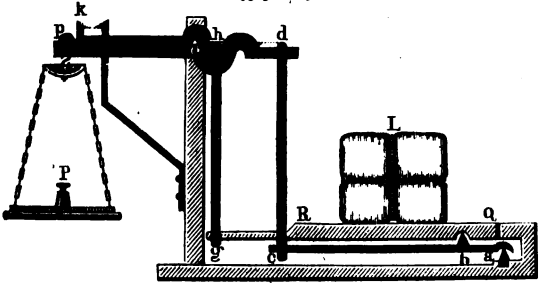
Außer der oben beschriebenen gemeinen Wage, welche der größten Genauigkeit fähig ist und daher von dem Physiker bei seinen Untersuchungen fast ausschließlich angewendet wird, bedient man sich im gemeinen Leben, wo es sich mehr um Bequemlichkeit des Gebrauches, als um große Genauigkeit handelt, noch verschiedener anderer Wagen, von denen die wichtigsten folgende sind:

Die römische oder Schnellwage, deren schon am Ende des vorhergehenden Paragraphen Erwähnung geschehen ist; ferner:

(Fig. 27.)

Die Zeigerwage, Fig. 27, besteht aus einem um den Scheitelpunkt drehbaren Winkelhebel. Ein an dem senkrechten Hebelarme angebrachtes Gewicht wird um so mehr gehoben und ein über einen Gradbogen spielender Zeiger um so weiter fortgeführt, je größer die am andern Hebelarme aufgehängte Last ist. Da jedoch die von dem Zeiger durchlaufenen Wege der Größe dieser Last keineswegs proportional sind, so wird die Eintheilung des Bogens auf die Art erhalten, daß man die Wagschale z. B. mit 1, 2, 3 Pfund u. s. w. belastet und die Punkte des Bogens, auf welche der Zeiger weist, mit den Ziffern 1, 2, 3 u. s. w. bezeichnet.

(Fig. 28.)



Die Dezimal- oder Brückenwage gewährt beim Abwägen größerer Lasten mehr Bequemlichkeit, als die gemeine Wage und die Schnellwage, indem die Wagschale oder Brücke, welche die Last trägt, nicht in Seilen oder Ketten aufgehängt, sondern von unten unterstützt ist. Die Einrichtung dieses sinnreichen Apparates ist im Wesentlichen folgende: Die Brücke QR, Fig. 28, welche die Last L trägt, wird einerseits von der Stange hg getragen, welche an dem um o beweglichen Hebelarme dp befestigt ist, andererseits ruht dieselbe auf der Schneide b, welche an dem um a drehbaren Hebelarme ao angebracht ist, dessen anderes Ende c durch die Stange cd

ebenfalls mit dem Hebelarme dp verbunden ist, welche an dem entgegengesetzten Ende p die zur Aufnahme der Gewichte bestimmte Wagschale trägt. Eine richtige Brückenwage ist so regulirt, daß dieselbe ohne Belastung und Gewicht für sich im Gleichgewicht ist, welches dadurch angezeigt wird, daß eine bei k an dem Hebelarme dp angebrachte Spitze einer an dem Gestell befestigten Spitze gerade gegenüber steht; ferner verhält sich die Länge ab zu ac genau eben so wie oh zu od. Dies vorausgesetzt ist die von der Last L auf den Hebelarm dp ausgeübte Wirkung ganz die nehmliche, als wenn die Last L unmittelbar an der Stange hg aufgehängt wäre. Bezeichnen wir nehmlich den von der Last L auf die Punkte b und g ausgeübten Druck beziehlich mit B und G, so ist offenbar B + G = L und das Moment der Kraft G in Beziehung auf den um o drehbaren Hebelarm dp = G . oh.

Die Kraft B drückt den um a beweglichen Hebelarm ac niederwärts; nehmen wir nun an, daß die Länge ab in ac m mal enthalten ist, so ist die Größe der Kraft, mit welcher in Folge dieses Druckes die Stange cd abwärts gezogen wird, $= \frac{1}{m}$ B und folglich ihr Moment in Beziehung auf den Hebelarm pd $= \frac{1}{m}$ B . od, oder da zu Folge unserer oben ausgesprochenen Voraussetzung die Länge od = m . oh ist:

= B . oh.

Demnach ist die Summe der statischen Momente der Kräfte, welche die Stangen hg und dc vermöge des von der Last L ausgeübten Druckes niederwärts ziehn

= G . oh + B . oh = (G + B) . oh,

also, da G und B zusammen = L sind:

= L . oh,

d. h. diese Summe ist eben so groß, als wenn die Last L unmittelbar im Punkte h aufgehängt wäre.

Da ferner bei den Decimalwagen die Länge op 10 mal so groß ist, als oh, so ist folglich das Gewicht P dem zehnten Theile der Last L gleich.

Unter den verschiedenen gebräuchlichen Gewichten führen wir zunächst an:

a. Das neuere französische Gewicht.

Die Einheit dieses Gewichtes ist das Gramm, welches gleich ist dem Gewichte eines Kubikcentimeters reinen Wassers bei seiner größten Dichtigkeit (bei der Temperatur von 4° C.) im luftleeren Raume.

Myriagramm.	Kilogramm.	Hectogramm.	Decagramm.	Gramm.
1	10	100	1000	10,000
	1	10	100	1000
		1	10	100
			1	10

Gramm.	Decigramm.	Centigramm.	Milligramm.
1	10	100	1000
	1	10	100
		1	10

Auf dieses Gewicht gründet sich

b. das neuere preußische Gewicht,

welches in Preußen im Jahre 1858 eingeführt worden ist und auch in andern Ländern des Zollvereins gebraucht wird. Die Einheit dieses Gewichtes ist das Pfund, welches genau gleich ist einem halben Kilogramm oder 500 Gramm.

Pfund.	Loth.	Quentchen.	Cent.	Korn.
1	30	300	3000	30,000
	1	10	100	1000
		1	10	100
			1	10

100 Pfund machen einen Centner und 40 Centner eine Schiffslast.

Bei dem bis zum Jahre 1858 in Preußen gebräuchlichen Gewichte war 1 Pfund = 468 Gramm; dasselbe wurde in 32 Loth, das Loth in 4 Quentchen getheilt. (Annähernd sind 14 Pfund neu Gewicht = 15 Pfund alt Gewicht, 7 Loth n. G. = 8 Loth a. G., 11 Quentchen n. G. = 5 Quentchen a. G.)

Nach diesem älteren Gewichte geregelt und in Preußen noch fortbestehend ist

c. Das Medicinal-Gewicht.

Pfund.	Unze.	Drachme.	Scrupel.	Gran.	Loth.
℔	℥	ʒ	℈	Gr.	Lth.
1	12	96	288	5760	24
	1	8	24	480	2
		1	3	60	1/4
			1	20	1/12
				1	1/240

(1 Unze = 1,754 Loth neu Gewicht, 1 Drachme = 2,192 Quentchen, 1 Scrupel = 7,308 Cent, 1 Gran = 3,654 Korn.)

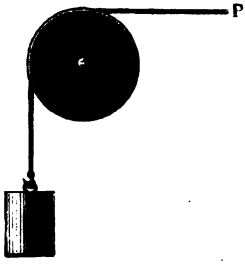
Zur Vergleichung anderer landesüblicher Gewichte kann die folgende Tabelle dienen:

1 ℔ in Preußen, Sachsen u. s. w. Zollpfund = 500 Gramm.
" " " Oesterreich . . . . . = 560 "
" " " Baiern . . . . . = 560 "
" " " Frankreich (alt) . . . . . = 490 "
" " " England . . . . . = 454 "
" " " Rußland . . . . . = 410 "
" " " Dänemark und Norwegen . . . . = 499 "
" " " Schweden . . . . . = 425 "

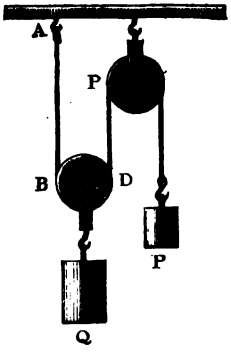
§. 30. Rolle.

Eine Rolle ist eine kreisförmige Scheibe, welche an ihrem Umfange mit einer Rinne versehen ist. Die Rolle ist entweder frei beweglich oder fest, wenn sie nur um eine durch ihren Mittelpunkt gehende feste Axe drehbar ist. Da bei der festen Rolle die Kraft P und die Last Q, Figur 29, am Umfange der Rolle angebracht sind, also gleichen Abstand vom Unterstützungspunkte haben, so muß P = Q sein, wenn das Gleichgewicht stattfinden soll. Bei der festen Rolle sind also Kraft und Last gleich. Durch dieselbe wird an Kraft weder gewonnen noch verloren, und sie dient lediglich dazu, einer Kraft eine andere Richtung zu geben. Man benutzt dieselbe z. B. an Thüren, um durch ein senkrecht niederwärts ziehendes Gewicht der Thüre eine wagerechte Bewegung zu ertheilen.

(Fig. 29.)



(Fig. 30.)



Bei der beweglichen Rolle ist die Last Q, Fig. 30, am Mittelpunkte der Rolle angebracht, und die Kraft P wirkt am Umfange derselben vermittelst eines Seiles, dessen anderes Ende irgend wo in A befestigt ist. Wir wollen hier nur den Fall berücksichtigen, daß die beiden freien Enden des Seiles AB und PD parallel laufen. Da die Länge des Seiles AB, auf dessen Gewicht wir keine Rücksicht nehmen, offenbar auf das Gleichgewicht ohne Einfluß ist, so können wir uns auch den festen Punkt A nach B verlegt denken. Wir sehen dann um so deutlicher, daß der senkrechte Abstand der Last Q von dem festen Punkte A oder B nur halb so groß ist, als der senkrechte Abstand der Kraft P; es muß folglich beim Gleichgewichte

$P = {}^1/_2 Q$ sein, d. h. bei der beweglichen Rolle ist die Kraft halb so groß, als die Last.

(Fig. 31.)

Aus der Verbindung mehrerer festen und beweglichen Rollen geht der Flaschenzug hervor. Die Rollen befinden sich in zwei Kloben oder Hülsen, einer festen A, Fig. 31, und einer beweglichen B, an welcher die Last Q angebracht ist. Den Lauf des Seiles, an dessen freiem Ende die Kraft P wirkt, zeigt die Figur. Da alle einzelnen Seile mit der Kraft P gespannt sind, so wird die Last Q offenbar mit der Kraft 6P gehoben, wenn, wie hier in der Figur, 6 Seile um die Rollen der beweglichen Hülse herumgehen (und die Seile einander parallel laufen). Ueberhaupt verhält sich beim Flaschenzuge die Kraft zur Last wie 1 zur Anzahl der Seile. — Eben so sieht man auch leicht, daß in dem verzeichneten Falle, um die Last Q 1 Fuß zu heben, die an dem freien Ende des Seiles wirkende Kraft P 6 Fuß zu durchlaufen hat.

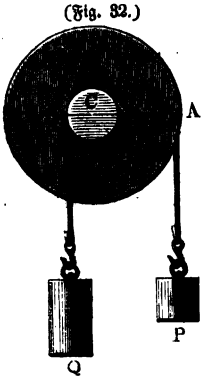
Wir übergehen den Potenzflaschenzug, da derselbe kaum irgend Anwendung findet.

§. 31. Wellrad.

Das Wellrad besteht aus einer Walze (Welle), welche um ihre Axe drehbar ist, und einem Rade, welches mit der Walze fest verbunden ist, und dessen Ebene auf der Axe der Walze senkrecht steht. Die Kraft P, Fig. 32, wirkt am Umfange des Rades und die Last Q am Umfange der Walze. Wie aus dem Gesetze des Hebels (§. 28) folgt, ist das Gleichgewicht vorhanden, wenn sich verhält $P : Q = BC : AC$,
d. h. am Wellrade verhält sich die Kraft zur Last, wie der Radius der Walze zum Radius des Rades.

Man gewinnt also um so mehr an Kraft, je kleiner der Radius der Walze und je größer der Radius des Rades ist. Das Wellrad erhält nach Verschiedenheit des Gebrauchs verschiedene Namen: Erdwinde, Haspel, Windseil u. dergl.

(Fig. 32.)

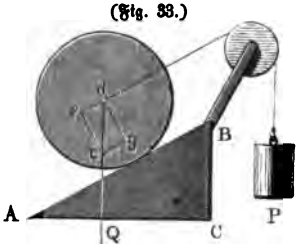


Bei einem Wagen, welcher sich auf einer ebenen und harten Straße fortbewegt, werden die Räder durch die Reibung, welche sie an ihrem Umfange an der Straße erleiden, um ihre Axe gedreht. Die Pferde an einem Wagen auf einer vollkommen ebenen und harten Straße haben also eigentlich weiter nichts zu thun, als die Umdrehung der Räder zu bewirken. (Denn die Last selbst wird von der Straße getragen, und einmal in Bewegung gesetzt, folgt sie dem Trägheitsgesetze.) Der Umdrehung der Räder wirkt die Reibung an der Axe hindernd entgegen. Aus dem über das Wellrad Gesagten geht hervor, daß sich die Kraft zur Last, als welche wir hier die Reibung an der Axe anzusehen haben, wie der Durchmesser der Axe zum Durchmesser des Rades verhält. Es ist daher vortheilhaft,

den Durchmesser der Axe möglichst klein und den des Rades möglichst groß zu machen. Eiserne Axen verdienen deßhalb, da sie dünner sein dürfen, vor hölzernen den Vorzug. Die Höhe der Räder findet darin eine Beschränkung, daß sie bei größerer Höhe mehr schwanken, und wenn sie nicht allzu schwer werden sollen, zerbrechlicher werden.

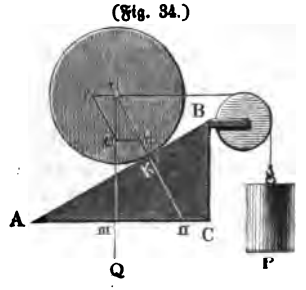
§. 32. Schiefe Ebene.

(Fig. 33.)



Auf der schiefen Ebene AB, Fig. 33, werde eine Last Q durch eine im Schwerpunkte d angebrachte und mit der schiefen Ebene AB parallele Kraft P im Gleichgewicht erhalten. Nennen wir AB die Länge, die lothrechte Linie BC die Höhe und die wagerechte Linie AC die Basis der schiefen Ebene, so wird das Gleichgewicht vorhanden sein, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie die Höhe BC zur Länge AB. Man gewinnt also um so mehr an Kraft, je kleiner im Verhältniß zur Länge die Höhe der schiefen Ebene ist, d. h. je kleiner der Neigungswinkel ABC ist: um so länger ist dann aber auch der Weg AB, welchen die Last zu durchlaufen hat, damit sie um die Höhe BC gehoben wird.

(Fig. 34.)



Soll die Last Q durch eine wagerecht wirkende Kraft P, Fig. 34, im Gleichgewichte erhalten werden, so muß sich die Kraft zur Last verhalten, wie die Höhe BC zur Basis AC. — Da die Basis allemal kleiner, als die Länge ist, so sieht man leicht, daß in diesem Falle eine größere Kraft erforderlich ist, um das Gleichgewicht herzustellen, als im vorhergehenden.

1) Wenn man das Gewicht der Last Q, Fig. 33, durch die lothrechte Linie de ausdrückt und diese Kraft in zwei Seitenkräfte dg und df zerfällt, von denen dg auf AB senkrecht und df damit parallel ist, so zeigt dg den senkrechten Druck an, welcher von der Last auf die schiefe Ebene AB ausgeübt und durch den Widerstand derselben aufgehoben wird; df aber giebt die Kraft an, mit welcher die Last längs der schiefen Ebene herabzugleiten strebt. Da nun für den Fall des Gleichgewichts diese Kraft = P sein muß, so muß sich folglich verhalten

$$P : Q = df : de.$$

Nun ist aber $\triangle$ edf $\sim$ ABC, weil Winkel $f = C = 90^0$ und Winkel fde = ABC ist, da ihre Schenkel parallel laufen. Demnach verhält sich df : de = BC : AB, wodurch die vorhergehende Proportion übergeht in

$$P : Q = BC : AB.$$

2) Zerfällt man in Fig. 34 die Kraft Q, welche durch de vorgestellt sein soll, in die Seitenkräfte df und dg, von denen df wagerecht und dg senkrecht auf der schiefen Ebene AB ist, so wird dg wieder durch den Widerstand der schiefen Ebene aufgehoben, und df muß für den Fall des Gleichgewichts = P sein; es muß sich also verhalten

$$P : Q = df : de = eg : de.$$

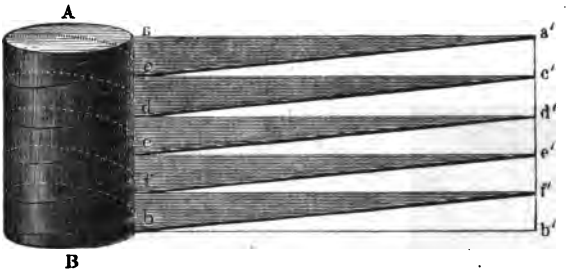
Nun ist aber $\triangle$ dge $\sim$ ABC. Denn wenn man de und dg bis zum Einschnitte in AB und AC verlängert, so ist Winkel dmn und Akn = 90^0, folglich auch Winkel edg + mnk = 90^0 und BAC + mnk = 90^0, also Winkel edg = BAC; ferner ist Winkel deg = ACB = 90^0, also $\triangle$ dge $\sim$ ABC. Demnach verhält sich eg : de = BC : AC, wodurch sich die obige Proportion verwandelt in

$$P : Q = BC : AC.$$

§. 33. Schraube.

Man unterscheidet bei jeder Schraube die Schraubenspindel und die Schraubenmutter. Die Schraubenspindel ist ein massiver Cylinder, um welchen die Schraubenwindungen als Erhabenheiten in Gestalt einer krummen Linie, der Schraubenlinie, herumlaufen. Die Schraubenmutter ist ein hohler Cylinder, in welchem die Schraubengänge an der innern Seite als Vertiefungen so eingeschnitten sind, daß die erhabenen Gänge der Schraubenspindel genau in dieselben einpassen. — Um eine deutliche Vorstellung von der Schraubenlinie zu erhalten, denke man sich den Mantel eines geraden Cylinders, AB, Fig. 35, in ein Ebene als ein

(Fig. 35.)



Rechteck aa'bb', aufgerollt, dasselbe durch Parallelen mit der Grundlinie in kleinere Rechtecke zerschnitten, welche alle eine gleiche Höhe haben, und in diesen Rechtecken parallele Diagonalen gezogen. Wird nun das Rechteck aa'bb' wieder um den Cylinder gerollt, so bilden diese Diagonalen eine zusammenhängende krumme Linie, welche überall unter demselben Winkel a'cc' = c'dd' = d'ee' u. s. w. gegen die Grundfläche des Cylinders geneigt ist und Schraubenlinie genannt wird.

Bei der Umdrehung der Schraubenspindel oder der Schraubenmutter werden die Erhabenheiten der einen längs den Vertiefungen der andern fortgeschoben, und wenn z. B. die Schraubenspindel durch eine an ihrem Umfange wirkende wagerechte Kraft umgedreht wird, und der Fortbewegung derselben ein in der Richtung ihrer Axe ausgeübter Druck entgegenwirkt, so wird hier dasselbe Verhältniß zwischen Kraft und Last stattfinden, wie wenn eine Last auf einer schiefen Ebene durch eine wagerechte Kraft emporgezogen werden soll. Wir haben in §. 32 gesehen, daß sich in diesem Falle Kraft und Last wie Höhe und Basis der schiefen Ebene verhalten. Nehmen wir z. B. den Schraubengang bf' als die schiefe Ebene an, so ist b'f', d. h. der Abstand zweier Schraubengänge von einander, gleich der Höhe und bb', d. h. der Umfang der Schraube, gleich der Basis der schiefen Ebene. Es verhält sich daher bei der Schraube die Kraft zur Last wie der Abstand zweier Schraubengänge zum Umfange der Schraube. Man gewinnt folglich bei einer Schraube um so mehr an Kraft, je näher die Schraubengänge neben einander herlaufen.

Wir haben bisher angenommen, daß die Schraube durch eine an ihrem Umfange wirkende Kraft in Bewegung gesetzt wird. In der Regel wirkt jedoch diese Kraft nicht unmittelbar am Umfange der Schraube, sondern an

dem Ende eines Hebelarmes. Man gewinnt dann noch so vielmal an Kraft, als der Radius des Schraubencylinders in der Länge des Hebelarmes enthalten ist. Wäre z. B. bei einer Schraube die Höhe der Schraubengänge in dem Umfange des Schraubencylinders 30mal und der Radius desselben in der Länge des Hebelarmes 10mal enthalten, so würde man das 300fache an Kraft gewinnen. Ueberhaupt gewinnt man so vielmal an Kraft, als der Abstand zweier Schraubengänge in dem Umfange des Kreises enthalten ist, welchen derjenige Punkt des Hebelarmes, in welchem die Kraft angebracht ist, bei der Umdrehung beschreibt. Es wird also auch bei der Schraube gerade so viel an Kraft gewonnen, als am Wege verloren geht.

Obschon der berechnete Effect bei der wirklichen Anwendung durch die Reibung sehr vermindert wird, so gehört doch die Schraube zu denjenigen mechanischen Vorrichtungen, bei welchen am meisten an Kraft gewonnen wird.

§. 34. Keil.

(Fig. 36.)

Der Keil ist ein dreiseitiges Prisma, dessen Durchschnitt gewöhnlich ein gleichschenkeliges Dreieck ABC, Fig. 36, bildet. Die gleiche Seite AC oder BC heißt die Länge und die Grundlinie AB die Breite des Keiles. Gewöhnlich wird der Keil zur Trennung zweier Flächen angewendet, welche auf die Seiten des Keiles einen Druck ausüben, während die Kraft senkrecht auf die Breite des Keiles wirkt. Nennen wir den Druck, welchen eine jede der beiden Seiten erleidet, die Last, so ist am Keile das Gleichgewicht vorhanden, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie die Breite zur Länge. Der Gewinn an Kraft ist also um so größer, je geringer die Breite des Keiles im Verhältniß zur Länge ist. Dieser Gewinn wird jedoch bei der praktischen Anwendung bedeutend durch die Reibung vermindert. Als besondere Anwendungen des Keiles sind anzusehen: Messer, Scheeren, Beile, Aexte, Degen, Nägel, Nadeln, Meißel u. s. w.

Wenn wir die auf die Breite AB wirkende Kraft mit P und den auf die gleichen Seiten AC und BC ausgeübten Druck mit Q bezeichnen, ferner diese Kräfte ihrer Richtung und verhältnißmäßigen Größe nach durch die Linien DE, DF und DG darstellen, so muß für den Fall des Gleichgewichts die Resultirende aus DF und DG, welche DH sein mag, der Kraft DE gerade gleich und entgegengesetzt sein. Es muß sich also verhalten:

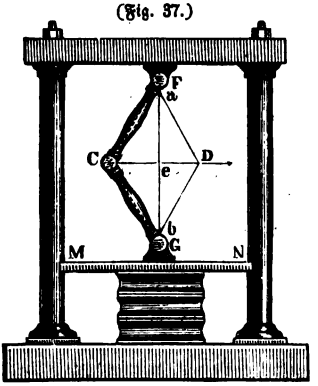
$$P : Q = DH : DF.$$

Nun ist Winkel FDH + FDE = 180°, und da DF und DE auf AC und AB senkrecht sind, auch Winkel FDE + A = 180°, folglich Winkel FDH = A; eben so findet man Winkel FHD = HDG = B. Demnach ist $\triangle$ DHF $\sim$ ABC, und folglich verhält sich DH : DF = AB : AC. Hiernach verwandelt sich die obige Proportion in:

$$P : Q = AB : AC.$$

Ein großer Theil des Effectes geht bei dem Keile durch die Reibung verloren. Dieß ist in weit geringerem Maße der Fall bei der Kniepresse, welche auf ähnlichem Prinzipe, wie der Keil beruht. Dieselbe besteht aus den beiden festen Stangen CF und CG, Fig. 37, welche bei C durch ein Gelenk verbunden sind. Der Arm CF drückt bei F gegen eine feste Widerlage, der Arm CG bei G auf die zusammenpressende Last. Wirkt nun auf C in wagerechter Richtung die Kraft CD, so läßt sich dieselbe zunächst in die den beiden festen Armen parallelen Kräfte Ca und Cb zerlegen. Weil aber jeder Druck auf eine Unterlage nur in senkrechter Richtung wirkt, so müssen wir, um die Größe des senkrechten Druckes zu finden, welchen die in der Richtung CG wirkende

(Fig. 37.)

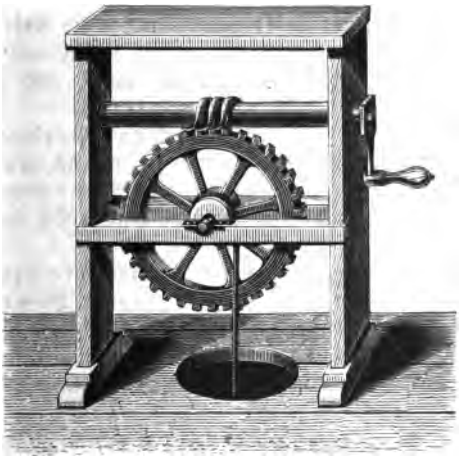


Kraft Cb bei G ausübt, dieselbe noch in zwei Seitenkräfte zerlegen, von denen die eine auf MN senkrecht, die andere damit parallel ist. Da nun die Größen dieser Kräfte, wie leicht zu sehen, durch die Linien Ce und be dargestellt werden, von denen be den auf MN ausgeübten senkrechten Druck angiebt, so verhält sich folglich beim Knie die Kraft zur Last wie CD zu be. So vielmal also CD in be enthalten ist, so vielmal wird an Kraft gewonnen. Der Gewinn an Kraft wird daher um so größer, je mehr der zusammengepreßte Gegenstand nachgiebt und in Folge hiervon die Schenkel CF und CG einen immer größeren Winkel einschließen und sich der geraden Linie nähern. — Man benutzt das Knie als Siegelpresse, als (amerikanische) Buchdruckerpresse und beim Prägen von Münzen.

§. 35. Zusammengesetzte Maschinen.

Aus den angeführten einfachen Maschinen ist die unzählige Mannigfaltigkeit der verschiedenen Maschinen zusammengesetzt. Man findet den Effect einer zusammengesetzten Maschine, wenn man die Effecte der einzelnen in einander greifenden Theile berechnet und die erhaltenen Zahlen mit einander multiplicirt. In allen Fällen gilt die Regel, daß *eben so viel an Kraft gewonnen wird, als am Wege verloren geht*. Der bei praktischen Anwendungen wirklich zu erlangende Effect bleibt jedoch hinter dem berechneten wegen der nie ganz zu beseitigenden Hindernisse der Bewegung (Reibung, Widerstand der Luft, Steifheit der Seile; vergl. unten §. 43) um ein Beträchtliches zurück.

(Fig. 38.)



Als Beispiel einer zusammengesetzten Maschine führen wir die *Schraube ohne Ende*, Fig. 38, an, welche zum Emporwinden von Lasten gebraucht wird. Dieselbe besteht aus einer Schraubenspindel, deren Windungen in die Zähne eines Rades eingreifen, welches an einer Welle befestigt ist. Die Kraft P wirkt am Ende eines an der Schraubenspindel angebrachten Kurbelarmes, die emporzuhebende Last Q am Ende eines um die Welle geschlungenen Seiles. Bezeichnen wir mit K eine Kraft, welche, am Umfange des Rades wirkend, im Stande sein würde, der Last das Gleichgewicht zu halten, ferner mit d den Abstand zweier Schraubengänge, mit a die Länge des Hebelarmes und mit R und r die Radien des Rades und der Welle, so erhalten wir für den Fall des Gleichgewichts die Gleichungen:

$$P : K = d : 2a\pi$$

und

$$K : Q = r : R,$$

folglich

$$P : Q = dr : 2a\pi R.$$

*§. 36. Größe der bewegenden Kräfte.

Da die Kräfte selbst uns gänzlich unbekannt sind, so können wir die Größe derselben nur nach den hervorgebrachten Wirkungen beurtheilen; wir nennen diejenige Kraft die größere, welche unter übrigens gleichen Umständen die größere Wirkung ausübt. Nun besteht aber die einfachste Wirkung einer Kraft darin, daß sie eine vorher ruhende Masse in Bewegung setzt und derselben eine bestimmte Geschwindigkeit ertheilt. Wenn daher zwei Kräfte der nehmlichen Masse ungleiche Geschwindigkeiten ertheilen, so ist diejenige als die größere anzusehen, welche die größere Geschwindigkeit erzeugt. Nach dieser Ueberlegung führen wir den folgenden Satz an, welcher ein Hauptprincip der Mechanik ausmacht:

1) Bei gleichen Massen verhalten sich die Kräfte wie die erzeugten Geschwindigkeiten.

Wenn ferner zwei Kräfte auf zwei ungleiche Massen wirken und beiden eine gleiche Geschwindigkeit ertheilen, so ist offenbar diejenige Kraft die größere, welche die größere Masse mit der gleichen Geschwindigkeit in Bewegung setzt. Da wir uns die doppelte, dreifache Masse aus zwei, drei gleichen Massen bestehend denken können, so sehen wir leicht ein, daß die doppelte, dreifache Masse, um mit gleicher Geschwindigkeit wie die einfache Masse fortbewegt zu werden, auch die doppelte, dreifache Kraft erfordert. Wir erhalten so das folgende Princip:

2) Bei gleichen Geschwindigkeiten verhalten sich die Kräfte wie die in Bewegung gesetzten Massen.

Aus der Verknüpfung dieser beiden Sätze geht weiter der folgende allgemeine Satz hervor:

Die bewegenden Kräfte verhalten sich überhaupt wie die Producte aus Masse und Geschwindigkeit.

Wenn z. B. eine Kraft einer Masse von 5 Pfund eine Geschwindigkeit von 10 Fuß und eine andere Kraft einer Masse von 3 Pfund eine Geschwindigkeit von 7 Fuß zu ertheilen vermag, so verhalten sich die Kräfte wie $5 . 10 : 3 . 7 = 50 : 21$; und wenn wir überhaupt die Kräfte mit P und P′, die Massen mit M und M′ und die Geschwindigkeit mit C und C′ bezeichnen, so verhält sich

$$P : P' = M . C : M' . C',$$

Da hiernach die Größe der bewegenden Kraft durch das Product aus Masse und Geschwindigkeit gemessen wird, so nennt man dieses Product auch die Größe oder Quantität der Bewegung.

Als unmittelbare Folgerung aus dem dritten Prinzipe ergiebt sich folgender Satz:

Sind die Kräfte P und P′ gleich, so verhalten sich die hervorgebrachten Geschwindigkeiten umgekehrt wie die in Bewegung gesetzten Massen, also: $C : C' = M' : M$.

So vermag z. B. dieselbe Menge Pulver, welche eine Flintenkugel mit ungeheurer Geschwindigkeit forttreibt, einer Bombe nur eine verhältnißmäßig langsame Bewegung zu ertheilen.

Das in einem Geschütze entzündete Pulver verwandelt sich in Dämpfe, welche sich vermöge ihrer durch die Hitze außerordentlich gesteigerten Elasticität nach allen Richtungen hin auszudehnen streben; der Ausdehnung nach der Seite widerstehen die Wände des Geschützes, und es findet daher die eigentliche Wirkung nur in der Richtung des Laufes statt. Die bewegliche Kugel wird durch die Elasticität der entwickelten Gase mit großer Geschwindigkeit in Bewegung gesetzt, das Geschütz selbst aber wird nach der entgegen-

gesetzten Richtung fortgetrieben. Diese beiden Bewegungen sind durch die nehmliche Kraft hervorgebracht und haben folglich eine gleiche Größe; aber die Kugel bewegt sich wegen ihrer geringeren Masse weit schneller, als das Geschütz, dessen Bewegung überdieß noch durch beträchtliche Hindernisse aufgehalten wird. — Das Nehmliche gilt von einer Flintenkugel und dem mit dem Schusse allemal verbundenen Rückschlage.

Wir haben oben den Satz, daß bei gleichen Massen sich die Kräfte wie die Geschwindigkeiten verhalten, ohne Beweis hingestellt. Es gründet sich derselbe auf den folgenden Satz, welcher ebenfalls ein Hauptprincip der Mechanik bildet.

Wenn eine Kraft, welche einer ruhenden Masse eine bestimmte Geschwindigkeit C zu ertheilen vermag, auf eine bewegte Masse wirkt, so vermehrt oder vermindert sie die Geschwindigkeit dieser Masse, je nachdem sie in der Richtung der Bewegung derselben, oder in der entgegengesetzten Richtung wirkt, allemal um dieselbe Größe C, welches auch immer die ursprüngliche Geschwindigkeit der bewegten Masse sein mag. — Als Erfahrungen, welche für die Richtigkeit dieses Satzes sprechen, führen wir folgende an: — Auf einem schnell segelnden Schiffe erfordert es gleichen Kraftaufwand, wie auf einem ruhenden, um vom Vordertheile nach dem Hintertheile oder umgekehrt zu werfen, obschon hierbei der geworfene Körper wegen der eigenen Bewegung des Schiffes Wege von ganz verschiedener Größe durchläuft. Eben so finden wir keinen Unterschied, ob wir nach Osten oder Westen schießen, werfen u. dgl., wiewohl im einen Falle die Bewegung mit der Axendrehung der Erde übereinstimmt, im andern ihr entgegengesetzt ist und folglich der Körper sehr verschiedene Wege zurücklegt.

Wenn nun zwei Kräfte auf zwei gleiche Massen wirken und die eine dieser Kräfte z. B. dreimal so groß ist, als die andere, so werden wir uns die dreifache Kraft in drei gleiche Kräfte von der einfachen Größe zerlegt denken und annehmen können, es wirkten diese drei Kräfte in untheilbaren Momenten nach einander auf die zu bewegende Masse; dann müssen sie derselben, wie wir im Vorhergehenden gesehen haben, auch eine dreifache Geschwindigkeit ertheilen. Eben so läßt sich für jedes andere Verhältniß zeigen, daß bei gleichen Massen die Geschwindigkeiten den Kräften proportionirt sind.

§. 37. Stoß fester Körper.

Der Stoß entsteht, wenn ein bewegter Körper auf einen andern ruhenden oder bewegten Körper trifft.

Wir haben bei jedem Stoße die *Gestalt*, die *Masse*, die *materielle Beschaffenheit* der zusammenstoßenden Körper, ferner ihre *Geschwindigkeit* und die *Richtung* der Bewegung zu berücksichtigen. Was zunächst die *Gestalt* anlangt, so wollen wir uns um größerer Einfachheit Willen auf die Betrachtung *kugelförmiger* Körper beschränken. In Hinsicht der *Richtung* unterscheiden wir den *geraden* und *schiefen* Stoß. Der Stoß heißt *gerade*, wenn die Richtungen der Bewegungen beider zusammentreffenden Kugeln mit der Verbindungslinie ihrer Mittelpunkte zusammenfallen, *schief*, wenn dieses nicht stattfindet. Beim geraden Stoße hängt die *Stärke* desselben allein von der *Masse* und *Geschwindigkeit* der bewegten Kugeln ab; ist die eine Kugel ruhend, so wird *die Stärke des Stoßes* durch die Größe der Bewegung, d. h. *durch das Product der Masse und Geschwindigkeit der andern bestimmt*. Der Stoß ist also um so stärker, je größer die Masse und je größer die Geschwindigkeit des stoßenden Körpers ist; eine Kanonenkugel übt bei gleicher Geschwindigkeit einen weit stärkeren Stoß aus, als eine Flintenkugel; ein fallender Körper schlägt um so härter auf, je größer die Höhe ist, von welcher er fällt, weil mit dieser Höhe auch seine Geschwindigkeit zunimmt. — Beim *schiefen* Stoße hängt die *Stärke* desselben auch noch von der *Richtung* der Bewegung ab; der schiefe Stoß ist um so schwächer, je kleiner der Winkel ist, welchen die Richtung der Bewegung der stoßenden Kugel mit der gestoßenen Fläche bildet.

In Hinsicht der materiellen Beschaffenheit der zusammenstoßenden Körper hat die größere oder geringere Elasticität derselben wesentlichen Einfluß auf den Erfolg des Stoßes. Wir berücksichtigen hier nur die beiden einfachsten Fälle und nehmen entweder an, daß die zusammenstoßenden Massen vollkommen elastisch oder vollkommen unelastisch sind. Da in der Natur keine dieser Annahme vollständig entsprechenden Körper angetroffen werden, so geben die sogleich anzuführenden Gesetze gleichsam die Grenzen an, zwischen denen die wirklichen Erscheinungen liegen. Wir beschränken uns aber hierbei, da diese Gesetze nur wenig Anwendung finden, auf die Annahme, daß die zusammenstoßenden Körper eine gleiche Masse haben, und daß einer derselben vor dem Stoße ruhte.

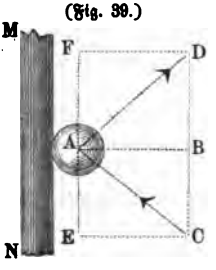
1) Stößt eine unelastische Kugel gegen eine feste Wand in einem geraden Stoße, so ruht sie nach dem Stoße.

2) Stößt eine unelastische Kugel gegen eine andere ruhende in einem geraden Stoße, so gehen beide nach dem Stoße mit der halben Geschwindigkeit der stoßenden Kugel fort.

3) Stößt eine elastische Kugel gegen eine feste Wand in einem geraden Stoße, so springt sie mit derselben Geschwindigkeit und auf demselben Wege zurück, auf welchem sie ankam. — Die elastische Kugel wird nehmlich im Stoße zusammengedrückt, und da sie mit der nehmlichen Kraft ihre Gestalt wieder herzustellen strebt, so erhält sie nach dem Stoße gerade die entgegengesetzte Bewegung, welche sie vor dem Stoße hatte.

4) Wenn eine elastische Kugel gegen eine feste Wand in einem schiefen Stoße trifft, so springt sie mit derselben Geschwindigkeit und unter dem nehmlichen Winkel an der andern Seite zurück. — Denn wenn wir uns die Bewegung CA, Fig. 39, der stoßenden Kugel in die beiden Seitenbewegungen BA und EA zerlegt denken, von denen BA auf der festen Wand MN senkrecht, EA aber mit derselben parallel ist, so bleibt die Bewegung EA offenbar im Stoße ungeändert, und die Kugel würde sich, wenn sie nur diese Bewegung hätte, nach dem Stoße mit der Geschwindigkeit AF = EA längs der Wand fortbewegen. Dagegen verwandelt sich die Bewegung BA, wie wir in Nr. 3 gesehen haben, in die gerade entgegengesetzte AB. Durch Zusammensetzung dieser beiden Bewegungen, AB und AF, ergiebt sich AD als die wirkliche Bewegung der mit der Bewegung CA angekommenen Kugel nach dem Stoße, wo, wie man leicht sieht, AD = AC und Winkel DAF = CAE ist.

(Fig. 39.)

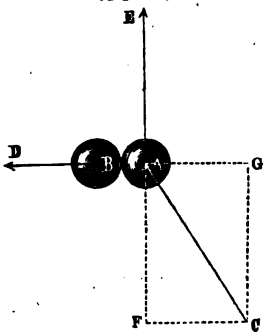


Dem so eben erwiesenen Gesetze über den schiefen Stoß elastischer Kugeln werden wir auch noch in mehreren anderen Zweigen der Physik (in der Lehre vom Schalle, Lichte u. a. m.) wieder begegnen.

5) Stößt eine elastische Kugel an eine andere ruhende in einem geraden Stoße, so bleibt sie nach dem Stoße ruhen und die vorher ruhende geht mit der Geschwindigkeit der stoßenden fort.

Versuche mit Kugeln auf dem Billard stellen dieses Gesetz darum weniger gut dar, weil sie wegen der Reibung an dem Tuche des Billards zugleich eine rollende Bewegung annehmen, welche durch den Stoß nicht aufgehoben wird. Besser eignen sich an Fäden aufgehangene elastische Kugeln für diese Versuche.

(Fig. 40.)



6) Stößt eine elastische Kugel A, Fig. 40, an eine andere ruhende B in einem schiefen Stoße, so geht die gestoßene Kugel B in der verlängerten Richtung BD einer Linie, welche durch die Berührungsstelle beider Kugeln im Stoße und die Mittelpunkte derselben geht, die stoßende Kugel A aber in einer hierauf senkrechten Richtung AE fort. — Denn wenn AC die Richtung und Geschwindigkeit der stoßenden Kugel A vor dem Stoße anzeigt, und wir zerlegen diese Bewegung in die beiden Seitenbewegungen AF und AG, so bleibt die erstere im Stoße unverändert, die letztere aber wird nach Nr. 5 ganz auf die gestoßene Kugel B übertragen; es geht daher diese nach dem Stoße in der Richtung BD, die stoßende Kugel A aber in der Richtung AE fort.

Man muß daher beim Billard, um eine ruhende Kugel durch den Stoß einer bewegten nach einem bestimmten Punkte fortzutreiben, gerade die diesem Punkte gegenüberliegende Stelle der ruhenden Kugel zu treffen suchen.

Bei einem jeden Stoße verfließt einige Zeit, ehe sich die Bewegung der ganzen Masse des gestoßenen Körpers mittheilt. Da indeß diese Zeit in der Regel äußerst kurz ist, daß sie für unsere Wahrnehmung gänzlich verschwindet, so können wir füglich den Stoß als eine momentan wirkende Kraft ansehen. Da jedenfalls nach Beendigung des Stoßes alle weitere Wirkung aufhört, so würden die durch den Stoß in Bewegung gesetzten Körper mit vollkommen gleichförmiger Bewegung fortschreiten, wenn nicht Reibung, Widerstand der Luft u. dgl. dieses verhinderten.

Bei sehr heftigem Stoße kann es geschehen, daß der gestoßene Körper eine Trennung seiner Theile erfährt und ein Theil seiner Masse durch den stoßenden Körper mit fortgerissen und von der übrigen Masse in einer so kurzen Zeit getrennt wird, daß dieselbe nicht ausreicht, die Bewegung durch die übrige Masse des Körpers fortzupflanzen. So wird z. B. ein aufrecht stehendes Brett, welches ein mäßiger Stoß umzuwerfen vermöchte, von einer abgeschossenen Flintenkugel bloß durchbohrt; — dieselbe macht in eine Glasscheibe ein rundes Loch und läßt die übrige Scheibe unversehrt, während der schwache Wurf eines kleinen Steines die Scheibe ganz zerschmettert u. dgl. m.

An die oben aufgeführten Gesetze über den Stoß zweier Kugeln von gleicher Masse reihen wir noch die folgenden.

7) Wenn zwei unelastische Kugeln, welche sich beide nach derselben Richtung bewegen, zusammenstoßen, indem die eine die andere einholt, so gehen sie nach dem Stoße mit der halben Summe der Geschwindigkeiten fort.

8) Stoßen zwei unelastische Kugeln mit entgegengesetzten Geschwindigkeiten an einander, so gehen sie nach dem Stoße mit der halben Differenz der Geschwindigkeiten fort.

9) Stoßen zwei nach derselben oder entgegengesetzten Richtung bewegte elastische Kugeln zusammen, so gehen sie nach dem Stoße mit verwechselten Geschwindigkeiten fort.

Sind die Massen zweier in einem geraden Stoße zusammentreffenden Kugeln nicht als gleich vorausgesetzt und mit M und M′, ferner ihre Geschwindigkeiten vor dem Stoße mit C und C′, die Geschwindigkeiten nach dem Stoße aber mit v und v′ bezeichnet, so ist erstens, wenn beide Kugeln unelastisch sind,

$$v = v' = \frac{MC + M'C'}{M + M'},$$

und zweitens, wenn beide Kugeln elastisch sind,

$$v = \frac{2M'C' + (M - M')C}{M + M'} \text{ und } v' = \frac{2MC + (M' - M)C'}{M + M'}.$$

In diesen Formeln haben C und C' das nehmliche Vorzeichen, wenn die Kugeln sich vor dem Stoße nach derselben Richtung bewegten; wenn aber die Richtung der einen Kugel die entgegengesetzte der andern ist, so hat man entweder C oder C' negativ anzunehmen, und wenn die eine Kugel, z. B. M', vor dem Stoße ruhte, so ist ihre Geschwindigkeit $C' = 0$ zu setzen.

§. 38. Fall der Körper.

Wir haben im Vorhergehenden gesehen, daß eine momentane Kraft eine gleichförmige Bewegung hervorbringt. Wirkt dagegen auf einen bewegten Körper eine continuirliche Kraft in der Richtung seiner Bewegung, so wird wegen der fortdauernden Wirkung der Kraft seine Geschwindigkeit beständig zunehmen und seine Bewegung folglich eine beschleunigte sein. Wenn aber eine continuirliche Kraft der Bewegung eines Körpers gerade entgegenwirkt, so muß seine Geschwindigkeit fortwährend abnehmen und seine Bewegung folglich eine verzögerte sein.

Von allen continuirlichen Kräften ist für uns die Schwere bei Weitem die wichtigste. Wir betrachten hier zuerst diejenigen Bewegungen, welche durch die alleinige Wirkung der Schwere hervorgebracht werden.

Jeder sich selbst überlassene Körper, welcher von keiner Unterlage getragen wird, fällt, indem er durch seine Schwere nach dem Mittelpunkte der Erde hingezogen wird. Die Geschwindigkeit, mit welcher ein Körper fällt, hängt jedoch nicht allein von seiner Schwere, sondern auch wesentlich von dem Widerstande ab, welchen die Luft seiner Bewegung entgegensetzt; dieser Widerstand hängt aber wieder von der Größe, der Gestalt und der Masse des fallenden Körpers, so wie auch von der mit der Zeit des Falles zunehmenden Geschwindigkeit desselben und von der Dichtigkeit der Luft, durch welche der Körper fällt, ab. Hiernach könnte ein alle diese Umstände zugleich berücksichtigendes Gesetz, wenn es möglich wäre ein solches aufzustellen, nur ein äußerst verwickeltes sein, und wir werden daher darauf verzichten müssen, dieses zu ermitteln. — Zu sehr einfachen Gesetzen gelangen wir dagegen, wenn wir uns einen im gänzlich leeren Raume fallenden Körper denken und die ganze Höhe des Falles als verschwindend klein gegen die Entfernung vom Mittelpunkte der Erde annehmen, so daß wir die Zunahme, welche die Schwere des fallenden Körpers dadurch erfährt, daß er während seines Falles sich dem Mittelpunkte der Erde nähert, unberücksichtigt lassen können. Unter diesen Voraussetzungen gelten für den freien Fall folgende Gesetze:

1) Alle Körper sind gleich schwer, d. h. im gänzlich leeren Raume müssen alle Körper mit gleicher Geschwindigkeit fallen.

2) Die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers nimmt in gleichem Verhältnisse mit der Zeit des Falles zu.

3) Der von demselben durchlaufene Weg aber wächst wie das Quadrat dieser Zeit.

Ein Körper fällt im leeren Raume in der ersten Secunde ohngefähr 15 Par. Fuß, also in 2 Secunden $4 \cdot 15 = 60$, in 3 Secunden $9 \cdot 15 = 135$, in 4 Secunden $16 \cdot 15 = 240$ Fuß u. s. w.

4) Die am Ende der ersten Secunde erlangte Geschwindigkeit ist doppelt so groß, als der in der ersten Secunde zurückgelegte

Weg und beträgt also 30 Par. Fuß, d. h. der Körper würde, wenn er mit der am Ende der ersten Secunde erlangten Geschwindigkeit fortginge, ohne daß die Schwere weiter auf ihn einwirkte, in der zweiten Secunde 30 Fuß zurücklegen. — Am Ende der zweiten Secunde beträgt die Geschwindigkeit des fallenden Körpers 2 . 30 = 60 Fuß, am Ende der dritten Secunde 3 . 30 = 90 Fuß u. s. w.

Diese Gesetze sind zuerst von Galilei 1602 aufgefunden und durch den Fall auf der schiefen Ebene nachgewiesen worden. Da nehmlich die Körper, welche auf einer schiefen Ebene fallen, ebenfalls durch eine continuirliche und unveränderliche Kraft, (welche sich, wie wir oben [S. 32] gesehen haben, zu der ganzen Schwere wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge verhält), beschleunigt werden, so müssen sie dieselben Gesetze, wie die frei fallenden Körper befolgen, nur mit dem Unterschiede, daß diese Bewegung in dem angegebenen Verhältnisse langsamer erfolgt, als beim freien Falle. Je langsamer aber ein Körper fällt, um so geringer ist der Widerstand der Luft; während derselbe für rasch bewegte Körper sehr beträchtlich ist, ist er dagegen für langsam fallende nur unbedeutend. Ein anderes Hinderniß entspringt jedoch für den Fall auf der schiefen Ebene aus der Reibung. Um diese zu vermindern, ließ Galilei glatte messingene Kugeln in Rinnen, welche mit glattem Pergament ausgefüttert waren, herabrollen.

Aus den oben angeführten Gesetzen ergiebt sich weiter und zwar zunächst durch Umkehrung des dritten Gesetzes, daß

5) die Zeiten des Falles wie die Quadratwurzeln aus den Fallhöhen zunehmen, daß also z. B. ein Körper eine doppelte, drei-, viermal . . . so lange Zeit braucht, um durch eine 4, 9, 16mal . . so große Höhe zu fallen; und da nach dem zweiten Gesetze sich die Endgeschwindigkeiten gerade wie die Fallzeiten verhalten, so folgt hieraus ferner, daß auch

6) die Endgeschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln aus den Fallhöhen wachsen.

Fragen wir daher, wie lange ein Körper im luftleeren Raume gebrauchen würde, um durch eine bestimmte Höhe, z. B. 100 Fuß zu fallen, so erhalten wir, da ein Körper in einer Secunde 15 Fuß fällt, zu Folge des vierten Gesetzes, wenn wir die gesuchte Zeit mit t bezeichnen, die Proportion:

$$1 : t = \sqrt{15} : \sqrt{100},$$

also

$$t = \sqrt{\frac{100}{15}} = \sqrt{6{,}66\,..} = 2{,}58\,..$$

Ein Körper würde also im luftleeren Raume etwas mehr als $2\frac{1}{2}$ Secunde brauchen, um durch die Höhe von 100 Fuß zu fallen. — Wollen wir weiter die Geschwindigkeit wissen, welche er am Ende dieses Falles erlangt hat, so ergiebt sich, da die am Ende der ersten Secunde erlangte Geschwindigkeit 30 Fuß beträgt, und die Geschwindigkeit überhaupt in gleichem Verhältnisse mit der Zeit zunimmt, die gesuchte Geschwindigkeit gleich $2{,}58 \times 30 = 77$ Fuß.

Ueber die Begründung der obigen Gesetze führen wir Folgendes an: Das erste dieser Gesetze geht mit voller Entschiedenheit aus Pendelversuchen hervor (vergl. unten S. 40); auch läßt sich dasselbe durch Versuche unter dem Recipienten der Luftpumpe und noch einfacher durch den folgenden Versuch bestätigen. Wenn man auf einen zwischen zwei Fingern wagerecht gehaltenen Thaler ein kleines Blättchen Papier oder eine kleine Feder legt und dann den Thaler (aus mäßiger Höhe) fallen läßt, so gelangen das Blättchen oder die Feder, wenn der Thaler während des Fallens die wagerechte Lage beibehält, gleichzeitig mit demselben am Fußboden an, indem der vorangehende Thaler den Widerstand der Luft überwindet.

Das zweite und das dritte Gesetz lassen sich auf theoretischem Wege in folgender Art herleiten: — Da die Schwere in jedem Zeittheilchen mit gleicher Stärke auf einen fallenden Körper beschleunigend einwirkt, so muß sie auch seine Geschwindigkeit in jeder Secunde um gleichviel vermehren. Heißt daher die am Ende der ersten Secunde er-

langte Geschwindigkeit 2g, so wird sie am Ende der zweiten Secunde = 4g, am Ende der dritten Secunde = 6g u. s. w. sein. — Der Raum, welchen der fallende Körper in irgend einer Secunde, z. B. in der dritten Secunde wirklich zurücklegt, ist offenbar größer, als die Geschwindigkeit am Anfange, und kleiner, als die Geschwindigkeit am Ende dieser Secunde, also $> 4g$, aber $< 6g$; und er muß genau dem Mittel dieser beiden Größen 5g gleich sein, da die Geschwindigkeit während dieser Secunde ganz gleichmäßig von 4g bis 6g gewachsen ist. — Eben so findet man den Fallraum für die erste Secunde = g, für die zweite = 3g u. s. w. Die Fallräume in den einzelnen Secunden verhalten sich also wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 u. s. w.

Durch Addition der in den einzelnen Secunden zurückgelegten Räume ergeben sich die Fallräume für die ganzen Zeiten; für die erste Secunde = g, für 2 Secunden = g + 3g = 4g, für 3 Secunden = 4g + 5g = 9g, für 4 Secunden = 9g + 7g = 16g u. s. w. Diese Fallräume verhalten sich also wie die Quadratzahlen 1, 4, 9, 16 u. s. w.

Bezeichnen wir überhaupt beim freien Falle die in Secunden ausgedrückte Zeit mit t, die am Ende dieser Zeit erlangte Geschwindigkeit mit v, den in der ganzen Zeit durchlaufenen Raum mit s und den Fallraum in der ersten Secunde mit g, so ist

$$1)\ v = 2gt \text{ und } 2)\ s = gt^2.$$

Fragen wir, welche Geschwindigkeit ein von einer bestimmten Höhe herabfallender Körper erlangt, so ist s gegeben und v gesucht. Aus (2) ergiebt sich

zunächst die Zeit $$3)\ t = \sqrt{\frac{s}{g}}$$

und dieses in (1) eingesetzt, giebt

$$4)\ v = 2\sqrt{gs}.$$

Bei dem Falle auf der schiefen Ebene ist (nach §. 32) die Beschleunigung dem Verhältniß zwischen der Höhe und Länge, d. h. dem Sinus des Neigungswinkels proportional. Nennen wir denselben α und bedienen uns im Uebrigen ähnlicher Bezeichnungen, wie beim freien Falle, so ist

$$5)\ v' = 2gt \sin\alpha \text{ und } 6)\ s' = gt^2 \sin\alpha.$$

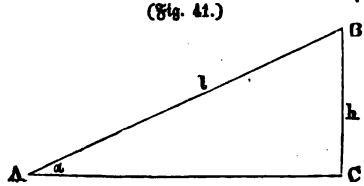
Beantworten wir auch hier wieder die Frage, welche Geschwindigkeit ein Körper erlangt, wenn er einen bestimmten Weg s auf der schiefen Ebene durchlaufen hat, so ergiebt sich zunächst aus (5) die Zeit

$$7)\ t = \sqrt{\frac{s'}{g \sin\alpha}}$$

und wenn wir diesen Werth in (6) einsetzen,

$$8)\ v' = 2\sqrt{gs' \sin\alpha}.$$

(Fig. 41.)



Bezeichnen wir die Länge der schiefen Ebene AB, Fig. 41, mit l, die Höhe BC mit h, ferner die Geschwindigkeit, welche beim Fall auf der schiefen Ebene ein Körper erlangt, welcher die ganze Länge derselben zurückgelegt hat, mit v' und die Geschwindigkeit, welche ein Körper erlangen würde, wenn er durch die senkrechte Höhe BC gefallen wäre, mit v, so ist zu Folge der Gleichung (8)

$$v' = 2\sqrt{gl \sin\alpha}$$

und vermöge Gleichung (4)

$$v = 2\sqrt{gh}.$$

Nun ist aber $l \sin\alpha = h$, folglich $v = v'$, d. h. ein Körper erlangt beim Falle auf der schiefen Ebene, wenn er die Länge derselben AB durchlaufen hat, die nehmliche Geschwindigkeit wie ein frei fallender Körper, welcher durch die senkrechte Höhe derselben BC gefallen ist.

§. 39. Mathematisches Pendel.

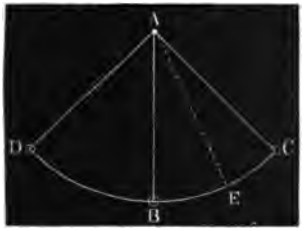
Eine zweite durch die Schwere hervorgebrachte Bewegung ist die schwingende Bewegung eines Pendels. Unter einem Pendel versteht man einen

ſchweren Körper, welcher in irgend einem Punkte, welcher jedoch nicht gerade der Schwerpunkt ſein darf, ſo aufgehängt iſt, daß er ſich um dieſen Punkt frei herumdrehen kann. Ein ſolcher Körper kann, wie wir wiſſen, nur dann ruhen, wenn ſein Schwerpunkt lothrecht unter dem Aufhängepunkte liegt. Aus dieſer Lage gebracht und dann ſich ſelbſt überlaſſen, kehrt er vermöge ſeiner Schwere nicht bloß in dieſelbe zurück, ſondern überſchreitet ſie nach dem Trägheitsgeſetze, kehrt dann wieder zurück u. ſ. w., wodurch die ſchwingende Bewegung des Pendels entſteht.

Wir gehen auch hier, wie beim Falle der Körper, am zweckmäßigſten von einer hypothetiſchen Annahme, nehmlich vom mathematiſchen Pendel, aus. Hierunter verſteht man eine gerade Linie, welche ſich um einen Endpunkt frei herumdrehen kann, und deren anderer Endpunkt allein ſchwer iſt. Daß ein ſolches Pendel in der Natur nicht exiſtirt, braucht wohl nicht erſt geſagt zu werden; man ſtellt es annähernd dar, wenn man ein Kügelchen von Blei oder noch beſſer von Platin an einem feinen Seidenfaden aufhängt.

Denken wir uns AB, Fig. 42, ſei ein mathematiſches in A aufgehängtes Pendel und B der einzige ſchwere Punkt desſelben. Aus der lothrechten Lage AB in die ſchiefe Lage AC gebracht und ſich dann ſelbſt überlaſſen, wird das Pendel vermöge der Schwere in die Lage AB zurückkehren und der ſchwere Endpunkt den Bogen CB durchlaufen. Wir können dieſe Bewegung mit dem Falle auf der ſchiefen Ebene vergleichen, indem wir uns den Bogen BC als aus unendlich vielen, unendlich kleinen geraden Stücken beſtehend denken; doch findet der weſentliche Unterſchied ſtatt, daß beim Falle auf der ſchiefen Ebene der Neigungswinkel fortwährend der nehmliche bleibt, während derſelbe hier von C nach B beſtändig abnimmt und in B ſelbſt verſchwindet. Die Geſchwindigkeit des Pendels wird daher zwar beſtändig, aber nicht gleichförmig, ſondern um ſo langſamer zunehmen, je mehr ſich der ſchwere Punkt dem Punkte B nähert, wo ſeine Geſchwindigkeit gar keinen Zuwachs mehr erhält. Da indeß, wie geſagt, die Bewegung von C nach B fortwährend durch die Schwere beſchleunigt worden iſt, ſo muß die Geſchwindigkeit in B am größten ſein; vermöge des Trägheitsgeſetzes fährt daher der ſchwere Punkt fort, ſich über B hinaus zu bewegen und ſteigt nun in dem Bogen BD in die Höhe. Da die Schwere ſeiner Bewegung jetzt genau eben ſo entgegenwirkt, als ſie vorhin beſchleunigend wirkte, ſo muß der äußerſte Punkt D, welchen der ſchwere Punkt erreicht, eben ſo hoch über B, als C liegen, alſo Bogen BC genau gleich BD ſein, indem bei einem mathematiſchen Pendel alle Hinderniſſe der Bewegung, Widerſtand der Luft, Reibung u. dgl. wegfallen. Nachdem der ſchwere Punkt in D angekommen iſt, hat er vermöge der Gegenwirkung der Schwere ſeine ganze Geſchwindigkeit verloren, und er durchläuft nun auf ganz gleiche Weiſe den Bogen CD in der entgegengeſetzten Richtung von D nach C u. ſ. w. Ein mathematiſches Pendel würde daher, wenn wir ein ſolches darzuſtellen vermöchten, ein vollkommenes perpetuum mobile ſein.

(Fig. 42.)



Von den Schwingungen eines mathematiſchen Pendels gelten folgende Geſetze:

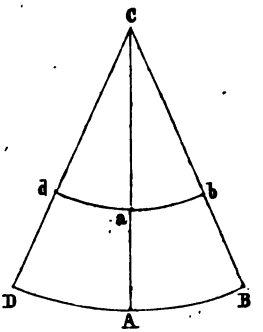
1) Bei dem nehmlichen Pendel ist für kleine Schwingungsbogen, (welche 10 Grad nicht übersteigen,) die Dauer der Schwingungen von der Größe der durchlaufenen Bogen fast unabhängig.

Wenn man die Schwingungen zählt, welche ein wirkliches oder physisches Pendel während einer Stunde macht, so findet man, daß es in der letzten Minute eben so viele Schwingungen macht, als in der ersten, obschon die Schwingungsbogen in der ersten Minute bedeutend größer waren, als in der letzten. Es muß daher die größern Bogen auch mit einer größern Geschwindigkeit durchlaufen haben. — Wenn nehmlich ein Pendel einmal von B bis E, Fig. 42, das andere Mal von B bis C aufgehoben wird, so ist die Richtung seiner Bewegung in C stärker gegen den Horizont geneigt, als in E; es wird also auch in C mehr durch die Schwere beschleunigt, als in E und bewegt sich daher, wenn es von B bis C aufgehoben wird, mit größerer Geschwindigkeit, als wenn man es nur bis E aufgehoben hätte. Hierdurch wird es möglich, daß ein bis C aufgehobenes Pendel den größern Bogen BC in derselben Zeit durchläuft, wie ein bis E aufgehobenes Pendel den kleinern Bogen BE.

2) Wenn zwei Pendel ungleiche Länge haben, so schwingt das 4-, 9-, 16mal längere 2-, 3-, 4mal langsamer. Ueberhaupt verhalten sich die Schwingungszeiten zweier Pendel wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen.

Dieses Gesetz läßt sich in folgender Art verdeutlichen: Wie wir oben (in §. 38) gesehen haben, verhalten sich beim freien Falle die Fallräume wie die Quadrate der Fallzeiten; folglich verhalten sich die Fallzeiten wie die Quadratwurzeln aus den Fallräumen. Dasselbe muß offenbar auch bei zwei gleich geneigten schiefen Ebenen stattfinden, da für den Fall auf den schiefen Ebenen die nehmlichen Gesetze wie für den freien Fall gelten; und es dürfte daher dieses Gesetz auch noch auf die Bewegungen zweier um gleiche Neigungswinkel aufgehobenen Pendel anzuwenden sein. Es werden sich also bei denselben die Schwingungszeiten wie die Quadratwurzeln aus dem Schwingungsbogen DAB und dab, Fig. 43, verhalten. Diese Bogen verhalten sich aber bekanntlich wie die Radien CA und Ca, d. h. wie die Pendellängen; folglich müssen sich auch die Schwingungszeiten wie die Quadratwurzeln aus diesen Längen verhalten.

(Fig. 43.)



Die Gesetze der Pendelschwingungen sind ebenfalls zuerst von Galilei aufgefunden worden.

Ist l die Länge eines mathematischen Pendels, t die Dauer einer Schwingung und g der Raum, welchen ein frei fallender Körper in der ersten Secunde zurücklegt, so ist sehr nahe

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{2g}},$$

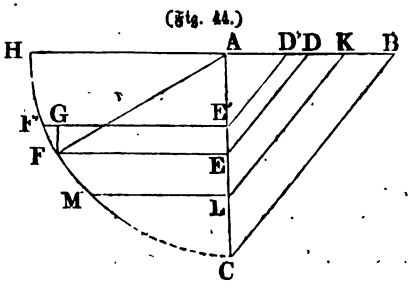
wo π die Verhältnißzahl zwischen Peripherie und Durchmesser bezeichnet.

Die so eben aufgeführte Formel ist jedoch nur eine Annäherung an die Wahrheit; sie würde vollkommen richtig sein, wenn beim Pendel die beschleunigende Kraft beim Beginn seiner Bewegung im höchsten Punkte C, Fig. 42, dem zwischen diesem und dem tiefsten Punkte B liegenden Bogen BC proportional wäre, und während der Bewegung von C nach B sich in demselben Verhältnisse verminderte, in welchem der noch bis B

hin zu durchlaufende Bogen kleiner wird, was, wie wir weiterhin noch ausführlicher besprechen werden, nicht genau, sondern nur annähernd zutrifft.

Wir beschäftigen uns nun zunächst mit der Lösung der Aufgabe, welche uns auch noch weiter unten (§. 168) wesentlichen Nutzen gewähren wird, die Gesetze der Bewegung eines Körpers zu ermitteln, für welchen die eben ausgesprochenen Voraussetzungen nicht annähernde, sondern volle Giltigkeit haben, daß nehmlich die Größe der beschleunigenden Kraft dem überhaupt von dem bewegten Körper bis zu einem bestimmten Punkte seiner Bahn zu durchlaufenden Wege proportional ist und sich in demselben Verhältnisse vermindert, in welchem während der Bewegung die Größe des bis zu diesem Punkte hin noch zurückzulegenden Weges abnimmt.

(Fig. 44.)



Dem zu Folge nehmen wir an, daß von dem Punkte B aus, Fig. 44, sich ein Körper den angegebenen Voraussetzungen gemäß gegen den Punkt A bewege. Da diese Voraussetzungen offenbar von der Gestalt der Bahn ganz unabhängig sind, so werden wir dieselbe am einfachsten als eine gerade Linie AB zeichnen. Nach unserer Annahme ist die beschleunigende Kraft im Punkte B, also auch die Geschwindigkeit, welche sie, wenn sie mit unveränderlicher Stärke wirkte, dem bewegten Körper in der Zeiteinheit ertheilen würde, der Größe des Weges AB proportional. Bezeichnen wir das Verhältniß dieser Geschwindigkeit zu dem Wege AB mit k, so giebt das Product $k \cdot AB$ für den Punkt B die Größe dieser Geschwindigkeit an, welche wir, da durch dieselbe die Größe der bewegenden Kraft gemessen wird, in Folgendem kurzweg die Größe der bewegenden Kraft nennen wollen. Da nach unserer Annahme dieselbe dem noch bis A zu durchlaufenden Wege proportional abnimmt, so ist sie für irgend einen andern Punkt D der Linie AB $= k \cdot AD$.

Ziehen wir durch den Endpunkt A der Linie AB unter einem beliebigen Winkel, am einfachsten unter einem rechten Winkel, eine Linie AC und machen dieselbe $= AB \sqrt{k}$, — eine Größe, von welcher wir unten sehen werden, daß sie gleich ist der Geschwindigkeit, welche der von B bis A bewegte Körper bei seiner Ankunft im Punkte A besitzt, — verbinden wir ferner den Endpunkt C mit B und ziehen durch den Punkt D zu BC eine Parallele, welche AC in E schneidet, so verhält sich

$$AE : AC = AD : AB,$$

und da wir $AC = AB \sqrt{k}$ gemacht haben, so ist folglich

$$AE = AD \sqrt{k}.$$

Errichten wir hierauf im Punkte E auf AC eine Senkrechte EF, und nehmen wir an, daß dieselbe gleich der Geschwindigkeit ist, welche der von B nach A hin bewegte Körper bei seiner Ankunft im Punkte D besitzt, nehmen wir ferner in einem unendlich kleinen Abstande von D auf der Linie AB einen zweiten Punkt D' an, ziehen DE' ∥ DE und errichten in E' ein Loth auf AC, welches von einem um A mit AF beschriebenen Kreise in F' geschnitten wird, so läßt sich zeigen, daß die Linie E'F' gleich der Geschwindigkeit ist, welche der bewegte Körper in D' erlangt.

Da wir die Linie DD' als unendlich klein angenommen haben, so gilt dasselbe offenbar auch von der Linie EE' und dem Bogen FF'; wir werden daher diesen, ohne merklichen Fehler, mit der Sehne FF' verwechseln und den Winkel F'FA als einen rechten ansehen können. Dieß vorausgesetzt, ist, wenn wir FG ∥ AC ziehn, $\triangle F'FG \backsim AEF$, da Winkel $F'FG + GFA = 90^0 = GFA + AFE$, also Winkel $F'FG = AFE$ ist. Demnach verhält sich

$$F'G : FG = AE : EF.$$

Nach dem Obigen ist $AE = AD \sqrt{k}$; ferner verhält sich

$$EE' : DD' = AE : AD,$$

und da $AE = AD \sqrt{k}$ ist, so ist folglich $FG = EE' = DD' \sqrt{k}$. Setzen wir diese Werthe von AE und FG in die vorhergehende Proportion ein, so verwandelt sich dieselbe in

$$F'G : DD' \sqrt{k} = AD \sqrt{k} : EF,$$

woraus sich $$F'G = \frac{k \cdot AD \cdot DD'}{EF}$$ ergiebt. Der Zuwachs an Geschwindigkeit, welchen der bewegte Körper während seiner Bewegung von D nach D′ vermöge der fortdauernden Einwirkung der bewegenden Kraft erfährt, kann offenbar als der Größe der bewegenden Kraft im Punkte D, welche zu Folge des Obigen $= k \cdot AD$ ist, und der unendlich kleinen Dauer dieser Bewegung, welche wir mit τ bezeichnen wollen, proportional angenommen werden; wir werden daher, wenn wir diesen Zuwachs an Geschwindigkeit z nennen,

$$z = k \cdot AD \cdot \tau$$

zu setzen haben. — Der von dem bewegten Körper in der unendlich kleinen Zeit τ durchlaufene Weg ist offenbar als dieser unendlich kleinen Zeit und der im Punkte D bereits erlangten Geschwindigkeit, welche wir durch EF ausgedrückt haben, proportional; wir werden demgemäß zu setzen haben

$$DD' = EF \cdot \tau.$$

Substituiren wir den aus dieser Gleichung sich ergebenden Werth von τ in die vorhergehende Gleichung, so ergiebt sich

$$z = \frac{k \cdot AD \cdot DD'}{EF},$$

also zu Folge des Vorhergehenden $z = F'G$,
d. h. F′G ist gleich dem Zuwachse an Geschwindigkeit, welchen der bewegte Körper während seines Fortschreitens von D nach D′ erfährt, und da diese Geschwindigkeit im Punkte D nach unserer Annahme gleich EF ist, so ist E′F′ gleich der Geschwindigkeit des bewegten Körpers im Punkte D′.

Denken wir uns den mit AF als Radius um A beschriebenen Quadranten CH durch unendlich viele Punkte, deren einer F sein soll, in unendlich viele, unendlich kleine Bogen getheilt, so wird sich das von dem Punkte F′ Erwiesene, indem wir immer von einem vorangehenden Punkte zu einem nächstfolgenden — einerseits von F nach H, andererseits von F nach C hin — übergehen, eben so von jedem anderen Theilungspunkte darthun lassen, daß nehmlich, wenn wir aus irgend einem Punkte M des Quadranten HC auf AC ein Loth ML fällen und KL ∥ DE ziehen, das Loth ML die Größe der Geschwindigkeit anzeigt, welche der von B nach A bewegte Körper bei seiner Ankunft im Punkte K besitzt.

Da die Geschwindigkeit des bewegten Körpers im Anfangspunkte B der Bewegung gleich Null ist, das die Größe der Geschwindigkeit anzeigende Loth aber da verschwindet, wo der mit AF beschriebene Quadrant die verlängerte AE schneidet, so muß dieser Durchschnitt in dem Punkte C erfolgen, in welchem die durch B mit DE gezogene Parallele die verlängerte AE schneidet, folglich der Radius $AF = AC = AB \sqrt{k}$ sein. Da AH senkrecht zu AC und gleich AF ist, so giebt das Product $AB \sqrt{k}$ zugleich die Größe der Geschwindigkeit an, welche der bewegte Körper bei seiner Ankunft im Punkte A erlangt.

Weiter haben wir noch die Dauer der Bewegung von B nach A zu suchen. Zu Folge der vorhergehenden Entwickelung erhielten wir die Gleichung

$$DD' = EF \cdot \tau, \text{ also } \tau = \frac{DD'}{EF},$$

wo τ die unendlich kleine Zeit bezeichnete, welche der bewegte Körper gebraucht, um den unendlich kleinen Weg DD′ zu durchlaufen.

Ferner haben wir oben $\triangle FF'G \backsim FAE$ erwiesen; vermöge der Aehnlichkeit dieser Dreiecke verhält sich $FF' : FG = AF : EF$,
woraus $FF' \cdot EF = AF \cdot FG$
hervorgeht. Zu Folge des Obigen war aber

$$FG = EE' = DD' \cdot \sqrt{k} = EF \cdot \tau \cdot \sqrt{k}.$$

Setzen wir diesen Werth in die vorhergehende Gleichung ein, so verwandelt sich dieselbe in

$$FF' \cdot EF = AF \cdot EF \cdot \tau \cdot \sqrt{k},$$

woraus sich $$\tau = \frac{FF'}{AF \cdot \sqrt{k}}$$ ergiebt. Da der Radius AF für alle in Betracht zu ziehende Punkte und eben so die Verhältnißzahl k die nehmliche Größe behalten, so ist zu Folge der vorstehenden

Gleichung die Zeit, welche der bewegte Körper gebraucht, um von D nach D′ zu gelangen, dem Bogen FF′ proportional.

Denken wir uns, wie wir dies in ähnlicher Art schon oben einmal gethan haben, den Quadranten CH in unendlich viele unendlich kleine Theile getheilt, aus den Theilungspunkten Lothe auf AC gefällt, und aus den Fußpunkten der Lothe Parallelen zu DE gezogen, so werden wir leicht zu der Ueberzeugung gelangen, daß die Zeit, welche der bewegte Körper gebraucht, den Weg von B nach D zu durchlaufen, gleich

$$\frac{CF}{AF \cdot \sqrt{k}}$$

die Zeit für den Weg DA gleich $\frac{FH}{AF \cdot \sqrt{k}}$

und die Zeit für den ganzen Weg gleich $\frac{CH}{AF \cdot \sqrt{k}}$

ist. Nun ist aber CH ein mit dem Radius AF beschriebener Quadrant, folglich

$$\frac{CH}{AF} = \frac{\pi}{2},$$

wenn π das Verhältniß der Peripherie zum Durchmesser bezeichnet. Es ist daher die Zeit der ganzen Bewegung von B nach A gleich

$$\frac{\pi}{2\sqrt{k}}.$$

Wir haben so das höchst merkwürdige Resultat erhalten, daß die Zeit, welche der bewegte Körper braucht, um von dem Punkte B bis zu dem unveränderlichen Punkte A zu gelangen, von der Größe des Weges AB ganz unabhängig, nehmlich immer gleich dem obigen Ausdrucke $\frac{\pi}{2\sqrt{k}}$ ist, welches auch immer die Größe des Weges AB sein mag, vorausgesetzt, daß die bewegende Kraft dem angegebenen Gesetze folgt, nehmlich in demselben Verhältniß abnimmt, in welchem der Weg bis zum Punkte A verkürzt wird*).

(Fig. 45.)

Diese Voraussetzungen treffen jedoch beim Pendel nicht mit voller Genauigkeit, sondern nur annähernd zu. Ist nehmlich B, Fig. 45, der schwere Punkt eines mathematischen Pendels, welches mit der lothrechten Linie AC einen Winkel $ACB = \alpha$ bildet, und denken wir uns durch B eine Tangente an dem Bogen AB gezogen, so ist der Neigungswinkel derselben gegen den Horizont, wie leicht zu sehen, gleich $ACB = \alpha$, folglich die beschleunigende Kraft der Schwere (nach §. 32 und 38) gleich

$$2g \sin \alpha = \frac{2g \cdot BE}{BC} = \frac{2g \cdot BE}{l},$$

wenn wir die Länge des Pendels mit l bezeichnen. Wiewohl nun hiernach die beschleunigende Kraft beim Pendel dem Sinus BE des Bogens AB und nicht dem Bogen AB selbst proportional ist, so werden wir doch, wenn dieser Bogen nur wenige Grade umfaßt, ohne einen allzu erheblichen Fehler besorgen zu müssen,

*) Wenn die Erde aus einer Masse von gleichförmiger Dichtigkeit bestände, so würde die Schwere im Innern der Erde in gleichem Verhältniß mit der Annäherung an den Mittelpunkt abnehmen. Bezeichnen wir die Beschleunigung der Schwere an der Erdoberfläche mit 2g, den Radius der Erde mit r, so ist zufolge des Obigen $2g = k \cdot r$, also $k = \frac{2g}{r}$. Denken wir uns nun ein Loch bis zum Mittelpunkte der Erde getrieben, so ist die Zeit, welche ein Körper gebrauchen würde, um in demselben von der Oberfläche bis zum Mittelpunkte zu fallen, gleich

$$\frac{\pi}{2\sqrt{k}} = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{r}{2g}} = 1270 \text{ Secunden} = 21 \text{ Minuten ohngefähr.}$$

den Sinus BE mit dem Bogen AB verwechseln dürfen. Wir erhalten dann für die Größe der beschleunigenden Kraft den Ausdruck

$$\frac{2g \cdot AB}{l}.$$

In der obigen Entwickelung haben wir diese Größe durch das Product

$$k \cdot AB$$

ausgedrückt, woraus sich $k = \frac{2g}{l}$

ergiebt. Am Schlusse dieser Entwickelung haben wir die Zeit der Bewegung von A nach B gleich

$$\frac{\pi}{2\sqrt{k}}$$

gefunden. Setzen wir den so eben für k erhaltenen Werth ein, so ergiebt sich für die Zeit der Bewegung von B nach A der Ausdruck

$$\tfrac{1}{2}\pi\sqrt{\frac{l}{2g}},$$

folglich für die Zeit einer ganzen Schwingung von B bis D

$$t = \pi\sqrt{\frac{l}{2g}}.$$

Die Zeit, welche das Pendel zu einem Hin- und Hergange, zu einer Doppelschwingung gebraucht, ist hiernach $2t = 2\pi\sqrt{\frac{l}{2g}} = \pi\sqrt{\frac{2l}{g}}$.

Nach §. 38 ist die Zeit, welche ein Körper gebraucht, um durch eine der doppelten Länge des Pendels gleiche Höhe zu fallen,

$$T = \sqrt{\frac{2l}{g}}.$$

Es verhält sich daher $2t : T = \pi : 1$,

d. h. die Zeit einer Doppelschwingung verhält sich zu der Fallzeit der doppelten Pendellänge, wie die Peripherie zum Durchmesser.

§. 40. Physisches Pendel.

Wir haben nun noch weiter zu zeigen, wie diese Gesetze auf ein physisches Pendel zu übertragen sind. Da in einem physischen Pendel jedes, auch das kleinste Theilchen Schwere hat, so kann man sich dasselbe als aus unzähligen mathematischen Pendeln, von ungleicher Länge bestehend denken. Die dem Aufhängepunkte näheren Theilchen haben zu Folge des zweiten Gesetzes das Bestreben rascher zu schwingen, als die entfernteren; da sie aber alle mit einander fest verbunden sind und daher gleichzeitig schwingen müssen, so werden offenbar die näheren durch die entfernteren in ihrer Bewegung verzögert, die entfernteren aber durch die näheren Punkte beschleunigt. Zwischen ihnen muß es nun einen Punkt geben, welcher weder beschleunigt noch verzögert wird, und welcher daher ganz eben so schwingen würde, wenn er der einzige schwere Punkt des physischen Pendels wäre. Dieser Punkt verhält sich also genau wie der schwere Punkt eines mathematischen Pendels und wird der Schwingungspunkt genannt. Sein Abstand vom Aufhängepunkte heißt die Länge des physischen Pendels. Man kann die Länge eines jeden physischen Pendels sehr nahe dadurch finden, daß man zugleich mit demselben ein kleines Bleikügelchen an einem feinen Faden schwingen läßt und diesen Faden so lange verkürzt oder verlängert, bis beide Pendel gleichzeitig schwingen.

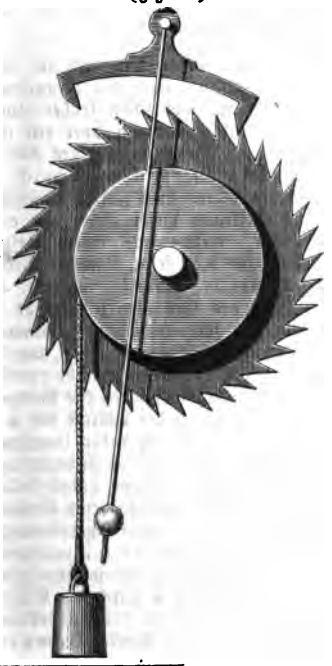
Wenn man eine gleichförmige Stange um das eine Ende schwingen läßt, so fällt der Schwingungspunkt ein Drittel vom andern Ende. Der Schwingungspunkt fällt also keineswegs mit dem Schwerpunkte zusammen.

Die Länge des Secundenpendels beträgt für unsere Gegenden ohngefähr 3 Par. Fuß (genauer $36^1/_2$ Par. Zoll oder 38 preuß. Zoll). Sie nimmt vom Aequator nach den Polen hin zu*). Denn da am Aequator die Schwere am kleinsten ist (vergl. §. 19), so wird das nehmliche Pendel am Aequator langsamer schwingen, als in höhern Breiten, z. B. in Paris; man wird dasselbe folglich am Aequator verkürzen müssen, wenn es eben so rasch schwingen soll, als in Paris. Der französische Astronom Richer fand im Jahr 1672 zu Cayenne, welches nur 5 Grad nördlich vom Aequator liegt, daß die aus Paris mitgebrachte Pendeluhr täglich $2^1/_2$ Minute zurückblieb, und er mußte das Pendel um $1^1/_4$ Linie verkürzen, damit die Uhr wieder richtig ging.

Eben so hat man durch Pendelbeobachtungen gefunden, daß die Schwere auf hohen Bergen geringer ist, als im Thale.

Wiewohl nun hiernach ein Körper am Aequator langsamer, als in höheren Breiten, und auf hohen Bergen langsamer, als im Thale fallen muß, so sind doch die Unterschiede in diesen Bewegungen viel zu gering, als daß sie sich durch die Beobachtungen wirklich fallender Körper nachweisen ließen. Wir verdanken allein den Beobachtungen der Pendelschwingungen die nähere Kenntniß dieser Abnahmen der Schwere.

(Fig. 46.)



Durch das Pendel werden wir ferner in den Stand gesetzt, den Satz zu erweisen, daß alle Körper gleich schwer sind, d. h. ohne den Widerstand der Luft mit gleicher Geschwindigkeit fallen würden. Newton verfertigte Pendel aus den verschiedensten Materien und fand, daß sie bei gleicher Länge genau gleichzeitig schwingen, und Bessel hat später in Königsberg dieselben Versuche mit großer Sorgfalt wiederholt und bestätigt, auch zwischen magnetischen und unmagnetischen Körpern keinen Unterschied gefunden. Aus diesen Versuchen folgt, daß verschiedene Materien auf gleiche Weise durch die Schwere beschleunigt werden.

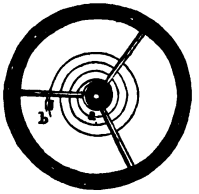
Da wegen der unveränderlichen Größe der Schwere an dem nehmlichen Orte der Erde die Schwingungen desselben Pendels in genau gleichen Zeiten geschehen, so eignet sich dasselbe vorzüglich zum genauen Zeitmaaße. Der holländische Physiker Huyghens hat zuerst die Anwendung des Pendels für diesen Zweck gelehrt und im Jahre 1658 die erste Pendeluhr construirt.

*) Bezeichnet φ die geographische Breite eines Ortes, so ist in Pariser Linien die Länge des Secundenpendels für denselben

$$l = 439{,}4008 + 2{,}2887 \sin \varphi^2.$$

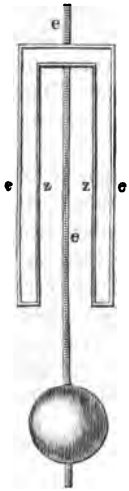
Wenn man um eine Rolle, welche um ihre Axe leicht drehbar ist, eine Schnur wickelt und an diese ein Gewicht hängt, so wird die Rolle, während das Gewicht abläuft, umgedreht werden; diese Bewegung wird aber nicht mit gleichförmiger, sondern mit immer mehr wachsender Geschwindigkeit erfolgen. Wenn aber die Rolle mit einem gezähnten Rade verbunden ist, in dessen Zähne die Spitzen eines Doppelhakens eingreifen, welches an einer Pendelstange befestigt ist, wie dies Fig. 46 zeigt, so wird das Rad nur jedesmal, nachdem das Pendel eine (Doppel-) Schwingung vollendet hat, um einen Zahn weiter gehn, und da das Pendel zu jeder Schwingung eine gleiche Zeit gebraucht, so wird auch die Umdrehung des Rades jetzt mit gleichförmiger Geschwindigkeit erfolgen. — Auf diese Art wird bei unsern Pendeluhren die Bewegung des Räderwerkes durch das mit denselben verbundene Pendel regulirt, mit dem Unterschiede, daß die Rolle, an welcher das Gewicht hängt, und das Zahnrad, in welches der Doppelhaken der Pendelstange eingreift, nicht an der nehmlichen Axe befestigt, sondern durch einige Räder und Triebe mit einander verbunden sind. Auf gleiche Weise wird auch die Verbindung mit den Wellen, an denen die Zeiger sitzen, hergestellt. — Indem das Pendel jedesmal, wenn der Doppelhaken einen Zahn des Steigrades losläßt, von demselben, vermöge des dieses Rad zur Umdrehung antreibenden Gewichtes einen kleinen Stoß erhält, so wird ihm hierdurch Ersatz für die Verluste, welche es durch die Reibung und den Widerstand der Luft erleidet, gewährt, und so die schwingende Bewegung des Pendels fortdauernd bis zum Ablaufen des Gewichtes unterhalten.

(Fig. 47.)



An das Vorstehende anreihend, führen wir noch an, daß wir dem Scharfsinne von Huyghens auch die Regulirung der Taschenuhren verdanken, welche zwar schon früher (um's Jahr 1500) erfunden worden sind, hierdurch aber erst ihre volle Brauchbarkeit erhalten haben. Die Bewegung des Räderwerkes wird bei den Taschenuhren bekanntlich nicht durch ein Gewicht, sondern durch die Aufwindung einer starken elastischen Feder hervorgebracht; zur Regulirung dieser Bewegung aber dient die sogenannte Unruhe, welche aus einem kleinen Schwungrädchen besteht, in welchem eine sehr feine elastische Feder, welche mit dem einen Ende an der Axe des Rädchens a, Fig. 47, mit dem andern an irgend einer Stelle des Gehäuses b befestigt ist, indem das Rädchen hin und her schwingt, sich abwechselnd zusammenzieht und ausdehnt. Was also beim Pendel die Schwere leistet, bewirkt hier die Elasticität der feinen Feder. — Die Pendeluhren übertreffen jedoch die Taschenuhren bei Weitem in der Regelmäßigkeit des Ganges.

(Fig. 48.)



Da die Stange eines physischen Pendels in der Wärme sich verlängert, so muß dasselbe bei einer höheren Temperatur langsamer schwingen, als bei einer niederen Temperatur. Um dieses zu vermeiden, pflegt man bei Uhren, welche einen sehr genauen Gang haben sollen, die Pendelstange aus zwei Metallen von sehr verschiedener Ausdehnung durch die Wärme, z. B. Zink und Eisen, deren Ausdehnungen bei gleichen Temperaturerhöhungen sich nahe wie 18 : 7 verhalten, ohngefähr in der Art, wie dieses die Fig. 48 zeigt, zusammenzusetzen, so daß bei der Ausdehnung des einen Metalles z durch die Wärme die Linse sich um eben so viel hebt, als sie durch die Ausdehnung des anderen e sich senkt. Man nennt dergleichen Pendel Compensationspendel.

Auch an der Unruhe der Taschenuhren wird, wenn dieselben einen sehr genauen Gang haben sollen, eine Compensation angebracht, auf deren nähere Beschreibung wir jedoch nicht eingehen können.

Zur genauen Abmessung der Länge des Secundenpendels dient das zuerst von dem Engländer Kater ums Jahr 1815 angewendete Reversionspendel, welches sich auf den merkwürdigen Satz gründet, daß sich bei jedem Pendel der Aufhängepunkt und der Schwingungspunkt vertauschen lassen, ohne daß die Schwingungszeit eine Aenderung erfährt. Das Reversionspendel besteht aus einer Messingstange aa', Fig. 49, an welcher in dem ohngefähren Abstande von 3 Fuß zwei feste Schneiden b und b', um welche die Stange schwingen kann, und ganz nahe unter dem Rücken der einen Schneide b' ein festes, mehrere Pfund schweres Gewicht, ferner zwischen den beiden Schneiden zwei kleine verschiebbare Gewichte c und c' angebracht sind. Wenn man nun das Pendel abwechselnd um die eine und um die andere Schneide schwingen läßt und die Laufgewichte c und c' so lange verschiebt, bis das Pendel um beide Schneiden genau gleichzeitig schwingt, in der Stunde gleich viel Schwingungen macht, so giebt der Abstand der beiden Schneiden von einander die Länge dieses Pendels an*).

(Fig. 49.)

Hieraus läßt sich aber dann weiter die Länge des Secundenpendels, d. h. eines Pendels, welches zu einer Schwingung genau eine Secunde Zeit braucht, leicht herleiten, vermöge des obigen Gesetzes, daß sich die Schwingungszeiten wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen, also die Pendellängen wie die Quadrate der Schwingungszeiten verhalten. Da nun die Schwingungszeiten zweier Pendel sich offenbar umgekehrt verhalten, wie die Anzahlen der Schwingungen, welche dieselben in einer gleichen Zeit, z. B. in einer Stunde vollenden, so verhalten folglich die Längen zweier Pendel sich umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszahlen. — Bezeichnen wir daher mit l die Länge des Reversionspendels, mit n die Zahl der Schwingungen, welche dasselbe in der Stunde macht, und mit x die gesuchte Länge des Secundenpendels, welches in der Stunde genau 3600 Schwingungen vollendet, so ergiebt sich die gesuchte Länge des Secundenpendels leicht aus der Proportion

$$x : l = n^2 : 3600^2.$$

Durch die genaue Abmessung und Berechnung der Länge des Secundenpendels gelangen wir auch zur schärferen Bestimmung des Raumes, welchen ein Körper beim freien Falle in der ersten Secunde zurücklegt. Ist nehmlich in der oben (§. 39) mitgetheilten Formel

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{2g}}$$

l gegeben, und wird t = 1 gesetzt, so ergiebt sich hieraus

$$g = \frac{\pi^2 l}{2}.$$

Bezeichnen wir für gewisse Orte der Erdoberfläche die ungleiche Größe der Schwere mit g und g', die ungleichen Zeiten, welche das nehmliche Pendel an diesen Orten zu einer Schwingung gebraucht, mit t und t', die ungleichen Anzahlen der Schwingungen, welche dasselbe in einer bestimmten Zeit, z. B. in einer Stunde, an diesen Orten vollendet, mit n und n', endlich die Länge des Pendels mit l, so ist

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{2g}} \text{ und } t' = \pi \sqrt{\frac{l}{2g'}},$$

folglich

$$g : g' = t'^2 : t^2 = n^2 : n'^2,$$

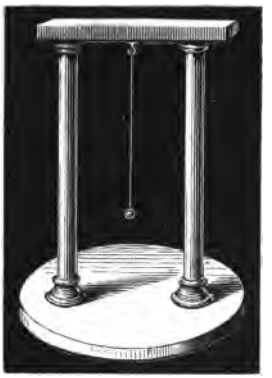
indem offenbar $t' : t = n : n'$ ist. Es verhalten sich also die ungleichen Größen der Schwere zweier Orte umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten und direct wie die Quadrate der Schwingungszahlen des nehmlichen Pendels.

In neuerer Zeit hat Foucault in Paris das Pendel dazu benutzt, um einen directen Beweis für die Axendrehung der Erde zu liefern. Um dieses zu begreifen, hängen wir ein Pendel an einem beweglichen Gestelle vermittelst eines feinen Fadens

*) Die Behandlung dieses Gegenstandes in den frühern Auflagen (1 bis 5) war in so fern nicht ganz genau, als bei dem physischen Pendel außer dem Aufhängepunkte und dem zugehörigen Schwingungspunkte immer noch zwei andere, also überhaupt vier Punkte existiren, um welche das Pendel gleichzeitig schwingt.

in der Art auf, wie dieses Fig. 50 zeigt, setzen dann dasselbe in irgend einer Richtung, z. B. senkrecht auf die Ebene des Gestelles, in Schwingungen und drehen dieses so, daß der Querbalken und die Grundfläche die wagrechte, die Seitenbalken aber die senkrechte Stellung beibehalten. Wir werden dann bemerken, daß trotz der Drehung des Gestelles die Schwingungsebene des Pendels ihre ursprüngliche Lage beibehält. War also die Ebene des Gestelles ursprünglich von Osten nach Westen gerichtet und erfolgten die Schwingungen des Pendels in der Richtung von Norden nach Süden, so daß sie also die Ebene des Gestelles senkrecht durchschnitten, so wird nach einer Umdrehung des Gestelles um 90° die Ebene desselben mit der Schwingungsebene des Pendels, welche unverändert die Lage von Norden nach Süden beibehält, zusammenfallen; bei weiterer Drehung um 90° dieselbe wieder senkrecht durchschneiden u. s. f.

(Fig. 50.)



Denken wir uns nun ein Gebäude an einem Pole der Erde aufgerichtet, an der Decke desselben an einem Faden ein Pendel aufgehängt und in Schwingungen versetzt, so wird vermöge der Axendrehung der Erde sich das Gestell innerhalb 24 Stunden um volle 360°, in einer Stunde also um 15° von Westen nach Osten, ganz in derselben Art, wie bei dem eben beschriebenen Versuche, drehen, die Schwingungsebene des Pendels dagegen ihre Lage gegen die Himmelsgegenden unverändert beibehalten. Da wir nun bekanntlich von der Axendrehung der Erde, an welcher wir selbst Theil nehmen, nichts bemerken, so würde einem Beobachter am Pole die Schwingungsebene des Pendels sich in der entgegengesetzten Richtung von Osten nach Westen und zwar in einer Stunde um 15° zu drehen scheinen.

Führen wir diesen Versuch, da wir an den Pol nicht zu gelangen vermögen, an irgend einem zwischen dem Pole und dem Aequator gelegenen Orte aus, so wird sich im Wesentlichen derselbe Erfolg zeigen, nur mit dem Unterschiede, daß, da die Drehungsaxe der Erde nicht wie am Pole mit der lothrechten Linie zusammenfällt, sondern mit derselben einen spitzen Winkel bildet, die scheinbare Drehung der Schwingungsebene des Pendels nicht mehr 15° für die Stunde beträgt, sondern hinter dieser Größe um so mehr zurückbleibt, je weiter der Beobachtungsort vom Pole entfernt ist. [Bezeichnen wir die Breite des Beobachtungsortes mit φ, so ist die Größe der angegebenen Drehung für die Stunde sehr nahe gleich $15^0 . \sin \varphi$, also für unsere Breiten ungefähr gleich 12°*).] Nur am Aequator wird die angegebene Drehung ganz ausbleiben, da hier die lothrechte Linie mit der Umdrehungsaxe der Erde einen rechten Winkel bildet.

Der hier beschriebene Versuch ist mit dem angegebenen Erfolge zuerst von Foucault in Paris im Anfange des Jahres 1851 ausgeführt und später an anderen Orten von verschiedenen Physikern wiederholt worden.

*§. 41. Wurfbewegung.

Die bisher besprochenen Bewegungen (Fall und Pendelschwingungen) wurden allein durch die Schwere hervorgebracht. Die geworfenen Körper dagegen werden zuerst durch irgend eine momentane Kraft in Bewegung gesetzt und würden sowohl beim horizontalen, als beim schiefen Wurfe beständig in gerader Linie fortschreiten, wenn nicht die Einwirkung der Schwere fortwährend die Richtung ihrer Bewegung veränderte.

Wir gehen auch bei der Wurfbewegung von der Betrachtung eines hypothetischen Falles aus, da die Bewegung der wirklich geworfenen

*) Einen einfachen Beweis dieses Satzes findet man in Poggendorfs Annalen, Bd. 88, S. 477. Tiefer eingehend behandelt diesen Gegenstand Dr. Lottner in dem Programm der Realschule zu Lippstadt vom Jahre 1855.

Körper eine viel zu verwickelte Erscheinung ist, als daß wir im Stande wären, dieselbe auf ein einfaches Gesetz zurückzuführen. Wir setzen nehmlich erstens voraus, daß der geworfene Körper sich im gänzlich leeren Raume bewege; zweitens vernachlässigen wir die Verminderung, welche seine Schwere erfährt, indem er sich vom Mittelpunkte der Erde entfernt, und drittens nehmen wir an, daß die Weite des Wurfes klein genug ist, daß wir die Richtungen der Schwere für alle Punkte der Bahn, welche der geworfene Körper beschreibt, als parallel ansehen können. Die beiden letzten Annahmen weichen in den meisten Fällen von der Wahrheit so wenig ab, daß auch die genauesten Beobachtungen und Messungen der Bahnen geworfener Körper nicht im Stande sein würden, einen Unterschied nachzuweisen.

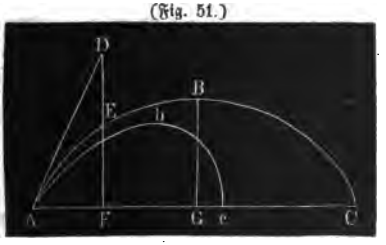
Wir unterscheiden folgende Fälle:

1) Wenn die Richtung des Wurfes mit der Schwere übereinstimmt, oder derselben gerade entgegengesetzt ist, mit andern Worten, wenn ein Körper *senkrecht niederwärts* oder *senkrecht aufwärts* geworfen wird, so findet man die *Geschwindigkeit*, welche er in einer bestimmten Zeit erlangt, wenn man die ursprüngliche Geschwindigkeit und die Geschwindigkeit, welche ein Körper beim freien Falle in dieser Zeit erlangen würde, entweder zu einander addirt oder von einander subtrahirt, und eben so findet man den Raum, um welchen sich ein senkrecht abwärts oder aufwärts geworfener Körper in einer bestimmten Zeit fortbewegt, wenn man den Weg, welchen er mit der ursprünglichen Geschwindigkeit vermöge des Trägheitsgesetzes in dieser Zeit durchlaufen haben würde, und den Weg, welchen ein frei fallender Körper in der nehmlichen Zeit durchläuft, entweder addirt oder diese Wege von einander subtrahirt.

Ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper steigt so lange, bis seine Geschwindigkeit durch die Gegenwirkung der Schwere gänzlich aufgehoben ist, und er fällt dann ganz in derselben Art, in welcher er vorher gestiegen ist. Ohne den Widerstand der Luft müßte er mit der nehmlichen Geschwindigkeit an der Stelle, von der er ausging, wieder ankommen, mit welcher er in die Höhe geworfen wurde. Der Widerstand der Luft bewirkt jedoch hierin einen großen Unterschied. Ohne denselben würden nicht bloß die aus der Höhe der Wolken niederfallenden Hagelkörner, sondern auch Regentropfen große Verwüstungen anrichten.

2) *Wenn die Richtung des Wurfes mit der Richtung der Schwere einen Winkel bildet, so beschreibt der geworfene Körper* eine krumme Linie ABC, Fig. 51, welche man eine *Parabel* nennt. Man findet den Ort E, welchen der geworfene Körper nach irgend einer bestimmten Zeit in seiner Bahn erreicht, wenn man zunächst den Weg AD hinzeichnet, welchen er vermöge seiner ursprünglichen Geschwindigkeit ohne alle Einwirkung der Schwere zurückgelegt haben würde, und von D aus auf einer lothrechten Linie DF den Raum DE aufträgt, welchen ein frei fallender Körper in derselben Zeit zurücklegt.

(Fig. 51.)



Die wagerechte Linie AC heißt die **Weite**, die senkrechte Höhe BG des höchsten Punktes die **Höhe des Wurfes**; der Winkel DAC wird der **Elevationswinkel** genannt. Die Höhe des Wurfes ist natürlich am größten, wenn der Elevationswinkel ein rechter ist. Die Weite des Wurfes aber ist am größten, wenn der Elevationswinkel 45^0 beträgt.

Wenn aus einem erhöhten Punkte B ein Körper in wagerechter Richtung geworfen wird, so beschreibt derselbe eine halbe Parabel BC.

Die Gesetze des Wurfes sind zuerst von **Galilei** aufgefunden worden.

Aus der vorstehenden Darstellung folgt offenbar, daß man den Lauf eines Geschützes oder einer Büchse, um einen bestimmten Punkt zu treffen, etwas höher richten muß, und zwar um so mehr, je weiter das Ziel entfernt ist, was durch die verschiedene Stellung des Visirs bewirkt wird.

Wegen des Widerstandes der Luft weicht die wirkliche Bahn geworfener Körper, welche man die **ballistische Curve** nennt, von der paraboliſchen Gestalt bedeutend ab. Während die Parabel ABC durch den höchsten Punkt B in zwei ganz gleiche Hälften AB und BC getheilt wird, ist bei der ballistischen Curve der Schenkel bc bedeutend kürzer und steiler, als der Schenkel Ab.

Bezeichnen wir die ursprüngliche Geschwindigkeit eines geworfenen Körpers mit c, die in Secunden ausgedrückte Zeit mit t, den in dieser Zeit durchlaufenen Raum mit s, die erlangte Geschwindigkeit mit v, ferner den Raum, welchen ein frei fallender Körper in der ersten Secunde zurücklegt, mit g, so ist für einen senkrecht niederwärts geworfenen Körper 1) $v = c + 2gt$ und 2) $s = ct + gt^2$
und für einen senkrecht in die Höhe geworfenen Körper:

$$3)\ v = c - 2gt \text{ und } 4)\ s = ct - gt^2.$$

So lange $t < \frac{c}{2g}$ ist, ist v positiv, und der Körper steigt in die Höhe; ist $t > \frac{c}{2g}$, so wird v negativ, und der Körper fällt. Ist $t = \frac{c}{2g}$, so wird $v = 0$, und der Körper hat dann seine größte Höhe erreicht. Um diese zu bestimmen, setzen wir den Werth $t = \frac{c}{2g}$ in die Gleichung (4) ein und finden so die größte Höhe $= \frac{c^2}{4g}$.

Bildet die Richtung des Wurfes mit dem Horizonte einen schiefen Winkel $DAF = \alpha$ und bezeichnen wir für irgend einen Punkt E auf der Bahn des geworfenen Körpers die in wagerechter und lothrechter Richtung durchlaufenen Räume AF und EF mit x und y, so ist $AD = ct$, $AF = ct \cos \alpha$, $DF = ct \sin \alpha$ und $DE = gt^2$, folglich

$$5)\ x = ct \cos \alpha \text{ und } 6)\ y = ct \sin \alpha - gt^2.$$

Der Werth von y verschwindet für $t = 0$, d. h. am Anfange des Wurfes, und für $t = \frac{c \sin \alpha}{g}$, d. h. am Ende des Wurfes, wenn der geworfene Körper in G angekommen ist. Dieser letzte Werth von t giebt also die ganze Dauer des Wurfes an. Setzen wir denselben in (5) ein, so erhalten wir die Weite des Wurfes $AC = \frac{c^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{c^2 \sin 2\alpha}{2g}$. Die Weite des Wurfes ist folglich am größten, wenn $2\alpha = 90^0$ oder $\alpha = 45^0$ ist. — Da der geworfene Körper in der einen Hälfte seiner Bahn eben so steigt, wie in der andern fällt, so muß er nach der halben Dauer des ganzen Wurfes, also für $t = \frac{c \sin \alpha}{2g}$ die größte Höhe erreichen. Dieser Werth von t in (6) eingesetzt giebt $BG = \frac{c^2 \sin \alpha^2}{4g}$, d. h. zu Folge der Gleichung (4) in §. 38: der Körper steigt eben so hoch, als ein mit der Geschwindigkeit $c \sin \alpha$ in die Höhe geworfener Körper.

*§. 42. Bewegung der Himmelskörper.

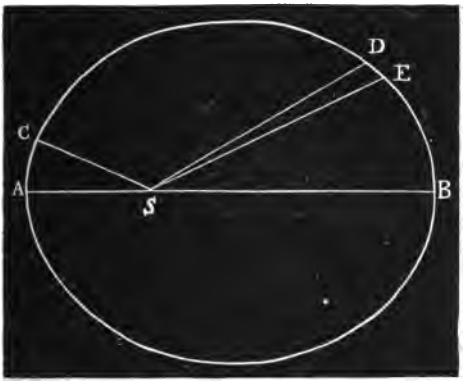
Die vorhergehenden Abschnitte behandelten solche Bewegungen, welche durch die Schwere, d. h. durch die gegenseitige Anziehung der Erde und der ihr zugehörigen Körper hervorgebracht werden. Den nehmlichen Gesetzen ist auch die Kraft, mit welcher die Sonne die Planeten anzieht und dieselben in ihren Bahnen erhält, unterworfen (§. 20).

Die Gesetze dieser Bahnen, welche wir dem Scharfsinne des unsterblichen Keppler (1610) verdanken, sind folgende:

1) Die Planeten bewegen sich in Ellipsen, in deren einem Brennpunkte S, Fig. 52, die Sonne steht.

2) Sie durchlaufen diese Bahnen nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit, sondern rascher in der Sonnennähe, A, langsamer in der Sonnenferne, B, überhaupt nimmt ihre Geschwindigkeit zu und ab, so wie sie sich in ihrer elliptischen Bahn der Sonne nähern oder von derselben entfernen, und zwar in der Art, daß wenn man sich den Mittelpunkt der Planeten mit dem Mittelpunkte der Sonne durch eine gerade Linie, Radius vector, verbunden denkt, der Radius vector in gleichen Zeiten gleiche Sectoren beschreibt.

(Fig. 52.)



Sind daher AC und DE zwei Bogen, welche der Planet in gleichen Zeiten durchläuft, so ist der Sector ASC gleich dem Sector DSE und folglich der Bogen AC größer, als der Bogen DE.

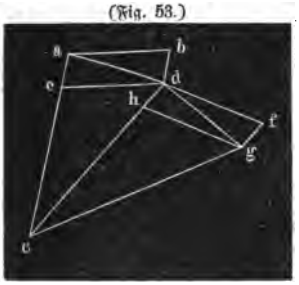
3) Die Quadrate der Umlaufszeiten verhalten sich wie die Kuben der großen Axen (AB) der Planetenbahnen. So verhalten sich z. B. beim Merkur und Mars die großen Axen ihrer Bahnen, oder was auf dasselbe hinausläuft, die mittleren Entfernungen von der Sonne (nahe) wie 1 : 4, also die Kuben hiervon wie 1 : 64, und die Umlaufszeiten (nahe) wie 1 : 8, also die Quadrate hiervon ebenfalls wie 1 : 64.

Diese nehmlichen Gesetze, welche die Grundlage der gesammten neuern Astronomie bilden, befolgen auch diejenigen Kometen, deren Bahnen näher bekannt sind, so wie auch die Nebenplaneten oder Monde bei ihrem Umlauf um den Hauptplaneten. Ja selbst von zwei Doppelsternen (Fixsternen, welche sehr nahe bei einander stehn,) bewegt sich, wie neuere, besonders von Encke in Berlin angestellte Untersuchungen gezeigt haben, der eine um den andern in einer Ellipse und befolgt hierbei das zweite Kepplerʼsche Gesetz, daß der Radius vector in gleichen Zeiten gleiche Räume beschreibt. Es sind hiernach auch noch solche Himmelskörper, welche unserm Sonnensysteme nicht angehören, den von dem unsterblichen Keppler entdeckten Gesetzen unterworfen.

Sämmtliche Keppler'sche Gesetze sind jedoch nur Folgerungen des von Newton (1682) aufgefundenen allgemeinen Gravitationsgesetzes: daß die Himmelskörper (unsers Sonnensystems) sich gegenseitig anziehen, und daß diese anziehende Kraft in geradem Verhältnisse ihrer Masse und im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung steht.

Das erste der drei Keppler'schen Gesetze läßt sich bequem nur mit Hilfe der höheren Analysis ableiten. Das zweite Gesetz, welches überhaupt für jede Centralbewegung, d. h. für eine jede Bewegung gilt, bei welcher ein Körper durch eine beständig nach dem nehmlichen Punkte hinziehende Kraft von der geraden Linie abgelenkt wird, welches auch immer das Gesetz sein mag, nach welchem diese Kraft wirkt, ergiebt sich leicht aus folgender Ueberlegung: Ist ad, Fig. 53, der Weg, welchen der bewegte Körper vermöge der in a erlangten Geschwindigkeit zu Folge des Trägheitsgesetzes in einem unendlich kleinen Zeittheilchen durchlaufen würde, ae der Raum, durch welchen die von dem Centrum c aus wirkende Kraft ihn in diesem Zeittheilchen führen würde, so giebt die Diagonale ad des Parallelogramms abde den Weg an, welchen der Körper wirklich durchläuft,

(Fig. 53.)



indem wir für die unendlich klein angenommene Dauer der Bewegung diesen Weg als eine gerade Linie ansehen können. Ohne die Einwirkung der Centralkraft würde nun der bewegte Körper in dem nächsten, eben so kleinen Zeittheilchen in der nehmlichen Richtung um eine ad gleiche Linie df sich fortbewegen, und wenn dh den Weg anzeigt, durch welchen die Centralkraft ihn in diesem Zeittheilchen führen würde, so ist die Diagonale dg des Parallelogramms dfgh der wirkliche Weg des Körpers in dem zweiten dem ersten gleichen Zeittheilchen. Da wir df = ad gemacht haben, so ist auch, wenn wir uns ef gezogen denken, △ ade = dfc, und da fg parallel cd ist, △ dfc = dgc, folglich △ ado = dgo. Es haben daher die in gleichen Zeiten von dem Radius vector beschriebenen Flächenräume gleiche Größe.

Den Zusammenhang des dritten Keppler'schen Gesetzes mit dem Newton'schen Gravitationsgesetze haben wir bereits oben in §. 20 nachgewiesen. — Aus diesem dritten Gesetze folgt auch noch, daß die ferneren Planeten nicht blos mit einer geringeren Winkelgeschwindigkeit, sondern auch mit einer geringern absoluten Geschwindigkeit in ihrer Bahn um die Sonne fortschreiten, als die dieser nähern Planeten, indem die Längen der ganzen Bahnen in gleichem Verhältnisse mit den mittlern Abständen von der Sonne, die Umlaufszeiten aber in einem stärkern Verhältnisse zunehmen. Bezeichnen wir nehmlich, um ganz deutlich zu sein, die Geschwindigkeiten zweier Planeten, d. h. die in einer Secunde durchlaufenen Wege, mit c und c', die in Secunden ausgedrückten Umlaufszeiten mit t und t' und die Längen der ganzen Bahnen, welche wir um größerer Einfachheit willen als kreisförmig, wovon dieselben doch nicht erheblich abweichen, annehmen wollen, mit p und p', so ist offenbar

$$c = \frac{p}{t} \text{ und } c' = \frac{p'}{t},$$

folglich 1) $c : c' = pt' : p't = (p : p') \cdot (t' : t)$.

Nun ist aber 2) $p : p' = r : r'$

wenn wir die Abstände der Planeten von der Sonne mit r und r' bezeichnen, und nach dem dritten Gesetze: $t'^2 : t^2 = r'^3 : r^3$,

also 3) $t' : t = \sqrt{r'^3} : \sqrt{r^3}$.

Setzen wir die in (2) und (3) erhaltenen Werthe in Gleichung (1) ein, so verwandelt sich dieselbe in

$$c : c' = (r : r') \cdot (\sqrt{r'^3} : \sqrt{r^3}) = \sqrt{r^2 r'^3} : \sqrt{r'^2 r^3}$$

oder $c : c' = \sqrt{r'} : \sqrt{r}$,

d. h. die mittlere Geschwindigkeit zweier ungleich von der Sonne entfernten Planeten verhält sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus ihren mittleren Entfernungen von der Sonne; der nähere schreitet folglich mit einer

größern, der fernere mit einer kleinern Geschwindigkeit fort. — Der Saturn ist ohngefähr 9mal so weit von der Sonne entfernt, als die Erde; die Erde durchläuft in einer Secunde 4 Meilen, der Saturn folglich nur $^4/_3 = 1^1/_3$ Meile. Er braucht zu einem Umlaufe mehr als 29 Jahre, nicht blos, weil er einen weiteren Weg zu machen hat, sondern auch, weil er langsamer fortschreitet.

Aus dem Newton'schen Gravitationsgesetze geht jedoch hervor, daß das erste und das zweite Keppler'sche Gesetz nur für einen der Wahrheit sehr nahe kommenden Ausdruck der wirklichen Bewegungen der Planeten gelten können, indem die gegenseitigen Anziehungen der Planeten kleine Abweichungen (Perturbationen) von der elliptischen Bahn hervorbringen, welche jedoch wegen der im Vergleich mit der Sonnenmasse sehr kleinen Massen der Planeten in der That nur gering sind (vergl. oben § 22). Weiter folgt aus dem Newton'schen Gravitationsgesetze, daß das dritte Keppler'sche Gesetz nur unter der Voraussetzung ganz streng richtig sein kann, wenn die Planeten sich wirklich in einem gänzlich leeren Raume bewegen, welcher ihrer Bewegung keinen Widerstand entgegensetzt. Die in neuerer Zeit von Encke angestellten Beobachtungen des nach ihm benannten Kometen scheinen jedoch dafür zu sprechen, daß die Kometen bei ihrer Bewegung um die Sonne den Widerstand einer sehr feinen Materie, welche man Aether nennt, zu überwinden haben. Wenn die bisherigen Beobachtungen der Planeten den Widerstand eines solchen Aethers, wenn ein solcher wirklich vorhanden sein sollte, nicht haben erkennen lassen, so dürfte dieses darin seinen Grund haben, daß die Planeten wegen ihrer dichteren Masse diesen Widerstand mit weit größerer Leichtigkeit zu überwinden vermögen, als die aus einer äußerst lockern, nebelartigen Materie bestehenden Kometen.

Tafel über die Sonne und die Planeten.

Name des Weltkörpers.	Entfernung von der Sonne in Millionen geographischer Meilen. mittlere	größte	kleinste	Verhältniß der kleinsten u. größten Entfernung von der Sonne.	Umlaufszeit. Jahre.	Tage.	Stndn.	Durchmesser in geographischen Meilen.	Masse; die der Erde = 1 gesetzt.	Zeit der Axendrehung. Tage.	Stdn.	Min.
Sonne	—	—	—	—	—	—	—	192740	359551	25	12	0
Merkur	8,00	9,64	6,35	3 : 4	—	87	23	672	0,17	1	0	5
Venus	14,94	15,94	13,94	75 : 76	—	224	17	1694	0,88	—	23	21
Erde	20,67	21,01	20,32	29 : 30	1	*)	—	1719	1,00	—	23	56,1
Mars	31,49	34,42	28,55	4 : 5	1	321	16	893	0,13	1	0	37,3
Jupiter	107,52	112,70	102,34	10 : 11	11	312	20	19307	336,75	—	9	55,4
Saturn	197,13	208,19	186,07	19 : 21	29	154	17	15518	101,41	—	10	29,3
Uranus	396,42	414,90	377,95	10 : 11	83	271	4	7472	19,18	—	—	—
Neptun	621,00	—	—	—	164	—	—	—	—	—	—	—

Zwischen dem Mars und Jupiter bewegen sich noch mehrere kleine Planeten um die Sonne, welche man unter dem gemeinschaftlichen Namen Planetoiden zusammenfaßt. Man kennt deren gegenwärtig über fünfzig, von denen vier (Vesta, Juno, Ceres, Pallas) im Anfange dieses Jahrhunderts, die übrigen seit dem Jahre 1845 entdeckt worden sind.

Von den in der vorstehenden Tabelle enthaltenen Zahlen besitzen die Angaben über die Umlaufszeiten der Planeten im Allgemeinen einen sehr hohen Grad von Genauigkeit. Von den Entfernungen der Planeten von der Sonne kennt der Astronom zwar die gegenseitigen Verhältnisse sehr genau: dagegen ist ihm die absolute Größe derselben nur ohngefähr bekannt. Eben so können auch die Angaben über die Durchmesser der Sonne und der Planeten nur für ohngefähre Abschätzungen gelten.

Von den Hauptplaneten sind die Erde, der Jupiter, der Saturn, Uranus und der Neptun von Nebenplaneten oder Monden begleitet.

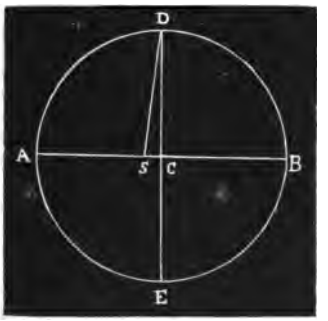
Der Mond der Erde vollendet seinen Umlauf um dieselbe in 27 Tagen 7 Stunden und 43 Minuten und dreht sich genau während dieser Zeit einmal um seine Axe; seine

*) 365 Tage 5 St. 48 Min. 47,8 Sec. — Bei den Angaben über die Umlaufszeiten der folgenden Planeten ist unter einem Jahre die Zeit von $365^1/_4$ Tagen oder 365 Tagen 6 Stunden zu verstehen.

mittlere Entfernung von der Erde beträgt 51830 geographische Meilen, sein kleinster Abstand 48990 M., der größte 54670 M.; sein Durchmesser mißt 454 Meilen und seine Masse ist ohngefähr der 80ste Theil von der Masse der Erde.

Von der zahllosen Menge der Kometen sind bereits für ohngefähr zweihundert die Bahnen näher berechnet.

(Fig. 54.)



Ueber die Gestalt der Erdbahn bemerken wir noch Folgendes: Nach der obigen Tabelle verhält sich die kleinste Entfernung der Erde von der Sonne zur größten, AS zu BS, Fig. 54, ohngefähr wie 29 zu 30. Ist C der Mittelpunkt der Ellipse, welche die Erde um die Sonne beschreibt, also DE der kleinste Durchmesser derselben, und nehmen wir den mittlern Abstand der Erde von der Sonne SD = AC als Einheit an, so ist die Excentricität $CS = \frac{1}{60}$, da nach dem Obigen $BS - AS = \frac{1}{30}$ ist. Aus dem rechtwinkligen Dreiecke DCS ergiebt sich nun weiter die halbe kleine Axe

$$CD = \sqrt{DS^2 - CS^2} = \sqrt{1 - \frac{1}{3600}} = 1 - \frac{1}{7200}$$

(ohngefähr). Die kleine Axe DE der Erdbahn ist folglich von der großen AB um weniger als ein 7000tel verschieden; es weicht daher die Gestalt der Erdbahn nur sehr wenig von einem Kreise ab. — Aehnliche Betrachtungen lassen sich mit Hilfe der obigen Tabelle leicht über die Bahnen der übrigen dort aufgeführten Planeten anstellen.

*§. 43. Hindernisse der Bewegung.

Wenn der Bewegung der Körper auf der Erde keine Hindernisse entgegenständen, so müßte jeder einmal in Bewegung gesetzte Körper sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit zu bewegen ohne Ende fortfahren. Die kleinste Kraft würde hinreichen, eine auf einer wagerechten Unterlage ruhende Last fortzubewegen, oder eine Maschine, welche für sich im Gleichgewichte ist, in Bewegung zu setzen; und eine einmal in Bewegung gebrachte Maschine würde nun von selbst fortfahren, sich unaufhörlich zu bewegen, ohne daß es irgend einer Kraft bedürfte, diese Bewegung zu unterhalten. Diejenigen Hindernisse, welche die fortdauernde Anwendung bestimmter Kräfte erforderlich machen, um die angeführten Bewegungen zu unterhalten, sind vorzüglich die Reibung, der Widerstand der Luft oder des Wassers, überhaupt des Mediums, Mittels, in welchem die Bewegung geschieht, und die Steifheit der Seile.

Die Reibung entsteht dadurch, daß bei zwei sich berührenden Körpern, welche einen Druck gegen einander ausüben, die Berührungsflächen auch bei der sorgfältigsten Politur doch niemals vollkommen glatt sind, vielmehr die Erhabenheiten der einen in die Vertiefungen der anderen eingreifen. Wenn nun der eine Körper längs des anderen fortbewegt wird, so werden diese Erhabenheiten entweder losgerissen oder verschoben, oder die Erhabenheiten des einen Körpers müssen die Erhabenheiten des anderen übersteigen. Der hierzu erforderliche Kraftaufwand bestimmt die Größe der Reibung. Die Reibung ist im Allgemeinen um so größer, je größer der Druck ist, welchen der eine Körper gegen den anderen ausübt, und je rauher die sich berührenden Flächen sind. Bei harten Körpern ist die Reibung von der Größe

der Berührungsflächen unabhängig, bei weichen und faserigen dagegen wächst sie mit der Größe der Berührungsfläche. Die Geschwindigkeit hat, wenn sie nicht allzu groß ist, keinen bedeutenden Einfluß auf die Größe der Reibung. — Man vermindert die Reibung durch Schmiermittel, und indem man die gleitende Bewegung in eine rollende verwandelt, wie man deutlich an den Rädern unserer Wagen sehen kann.

Der Reibung ist es hauptsächlich zuzuschreiben, daß die wirklichen Leistungen unserer Maschinen immer bedeutend hinter dem berechneten Effecte zurückbleiben. — Andererseits gewährt uns die Reibung aber auch unzählige Vortheile. Ohne dieselbe würden wir kaum zu Gehen im Stande sein; kein Nagel würde haften, kein Knoten, keine Nath würde halten; die Gewebe, aus denen unsere Kleider bestehen, würden in einzelne Fäden aus einander fallen u. dgl. m.

Man benutzt die Reibung ferner bei Maschinen, um vermittelst Riemen oder Schnüre die Bewegung eines Rades auf ein anderes zu übertragen. Das bekannteste Beispiel bietet das gewöhnliche Spinnrad dar. — Eben so wird die Fortbewegung der Locomotive auf der Eisenbahn durch die Reibung der durch die Dampfkraft in drehende Bewegung versetzten Räder an den eisernen Schienen vermittelt. Je größer die Zahl der angehängten Wagen und die Belastung derselben ist, um so beträchtlicher muß die Reibung der Räder der Locomotive an den Schienen und also um so größer das Gewicht der Locomotive sein. Dieß ist noch mehr der Fall, wenn die Schienen nicht wagerecht liegen, sondern zugleich eine Steigerung überwunden werden soll. Ist diese zu groß oder das Gewicht der Locomotive zu gering, so kann es geschehen, daß die Räder derselben sich um ihre Axe drehen, ohne den Zug fortzubewegen.

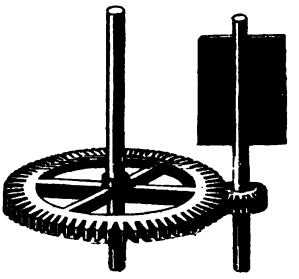
Der Widerstand des Mittels, der Luft oder des Wassers, besteht darin, daß ein Körper, welcher sich in demselben bewegt, fortwährend Theile derselben fortschieben muß und daher, so wie jeder stoßende Körper, welcher einen ruhenden in Bewegung setzt, an seiner eigenen Geschwindigkeit verliert. Dieser Widerstand wächst sehr stark mit der Geschwindigkeit*) des bewegten Körpers und hängt außerdem von der Größe und Gestalt desselben und von der Dichtigkeit des Mittels ab, in welchem die Bewegung geschieht. Man sucht diesen Widerstand dadurch zu verringern, daß man die Körper nach der Richtung hin, in welcher die Bewegung geschieht, z. B. die Schiffe, die Linsen an den Uhrpendeln u. dgl. schmal zulaufen läßt. Eben so kommt den Vögeln beim Fliegen, den Fischen beim Schwimmen ihr Bau sehr zu statten. — Der Nutzen dieses Widerstandes zeigt sich beim Rudern, Schwimmen, Fliegen, beim Fallschirme u. dgl. Auch beruht darauf das Aufsteigen der Raketen.

Die Steifheit der Seile setzt ihrer Krümmung über Rollen, Walzen u. dgl. einen Widerstand entgegen und bewirkt so ebenfalls einen Kraftverlust. An einem Wagen haben die Pferde auf einer ebenen Straße hauptsächlich nur die der Bewegung entgegenstehenden Hindernisse zu überwinden. Da ein Frachtwagen auf einer guten Chaussee sich von einer Anhöhe von selbst zu bewegen anfängt, wenn die Straße auf 36 Fuß Länge 1 Fuß Neigung hat, so folgt hieraus, daß die zur Fortbewegung in der Ebene erforderliche Kraft $^1/_{36}$ der ganzen Last ist, und daß bei einer Neigung von 1 in 36 schon die doppelte Zugkraft erfordert wird. Wird die Kraft eines

*) Bei mäßigen Geschwindigkeiten ohngefähr wie das Quadrat derselben.

Pferdes zu 100 ℔ angenommen, so ergeben sich hieraus 3600 ℔ = 36 ℭ. als Ladung für ein Pferd auf einer vollkommen horizontalen Straße. — Auf Eisenbahnen ist die zum Fortschaffen der Lasten erforderliche Kraft in der Ebene ohngefähr $^1/_{250}$ vom Gewichte der Last, also zehnmal geringer, als auf einer Chaussee. Dagegen ist schon bei einer Neigung von 1 in 360 der doppelte Aufwand an Kraft erforderlich.

(Fig. 55.)



Man macht von dem Widerstande der Luft eine nützliche Anwendung in den sogenannten Windfängen, welche verhindern sollen, daß die Geschwindigkeit der Bewegung einer Maschine eine gewisse Grenze nicht überschreite. Man bringt nehmlich an einer Welle, welcher durch das Räderwerk der Maschine die größte Geschwindigkeit ertheilt wird, Flügel an, welche von der Luft einen um so größeren Widerstand erfahren, je rascher die Umdrehung erfolgt, und daher dahin wirken, einen zu raschen Gang der Maschine zu verhindern. — Am bekanntesten sind die Windfänge an den Schlagwerken unserer Uhren.

*§. 44. Geschichtliche Uebersicht.

250 v. Chr. Archimedes erweist die Gesetze des Hebels, des Flaschenzuges, der schiefen Ebene, der Schraube u. s. w. Eben so lehrt er auch den Schwerpunkt der Körper auf mathematischem Wege bestimmen.

1600 — 1700 n. Chr. Die Untersuchungen verschiedener Physiker führen zur Entdeckung des Theorems vom Parallelogramm der Kräfte, welches zuerst für Kräfte, welche unter einem rechten Winkel zusammenstoßen, später allgemein für Kräfte, deren Richtungen einen beliebigen Winkel einschließen, erwiesen wird.

1602. Galilei entdeckt die Gesetze des freien Falles, des Falles auf der schiefen Ebene und der Pendelschwingungen.

1610. Keppler entdeckt die allgemeinen Gesetze der Bewegungen der Planeten.

1658. Huyghens vervollständigt Galilei's Entdeckungen über das Pendel und wendet dasselbe als Zeitmaaß an. Derselbe lehrt auch die Schwungkraft (Centrifugalkraft) berechnen.

1682. Newton entdeckt das allgemeine Gravitationsgesetz.

Da die Entdeckungen der neueren Physiker in den mechanischen Wissenschaften sich auf die höhere Analysis gründen, so haben sie in diesem Lehrbuche keine Aufnahme finden können.

Dritter Abschnitt.

Von den mechanischen Erscheinungen flüssiger Körper.

§. 45. Von den flüssigen Körpern im Allgemeinen.

Die flüssigen Körper unterscheiden sich von den festen durch die leichte Verschiebbarkeit ihrer Theile. — Die Zahl derjenigen Körper, welche sich uns bei der gewöhnlichen Temperatur im flüssigen Zustande zeigen, ist eine ziemlich beschränkte. Die bekanntesten Flüssigkeiten sind Wasser, Weingeist,

Oele, Aether, Queckſilber. Die meiſten anderen Flüſſigkeiten, wie z. B. Bier, Wein, Branntwein, Eſſig u. ſ. w. ſind Miſchungen des Waſſers mit anderen Flüſſigkeiten oder feſten Körpern, welche im Waſſer aufgelöſt ſind.

Wir werden es in dieſem Abſchnitte nur mit den mechaniſchen Eigenſchaften der Flüſſigkeiten, welche durch die Schwere und die leichte Verſchiebbarkeit der Theile bedingt werden, zu thun haben und dieſelben vorzüglich an der verbreitetſten aller Flüſſigkeiten, dem Waſſer, ſtudiren.

Mehrere der im vorhergehenden Abſchnitte zunächſt für feſte Körper entwickelten Geſetze, z. B. über die Zuſammenſetzung und Zerlegung der Kräfte, über den Schwerpunkt, den Fall und die Wurfbewegung, gelten auch für flüſſige Körper, ſo lange nehmlich nicht durch die leichte Verſchiebbarkeit der Theile eine Verſchiedenheit hervorgerufen wird.

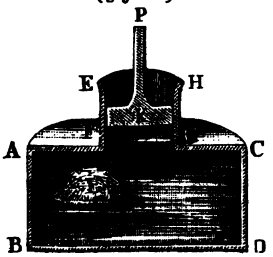
§. 46. Oberfläche des Flüſſigen in einem offenen Gefäße.

Wegen der Schwere und leichten Verſchiebbarkeit der Theile können wir eine Flüſſigkeit nicht für ſich allein, getrennt von anderen Körpern, (wenigſtens nicht in größerer Maſſe,) erhalten, ſondern müſſen dieſelbe in Gefäße mit feſten Wänden einſchließen. Indem die Flüſſigkeit den Raum des Gefäßes ausfüllt, nimmt ſie natürlich die demſelben eigenthümliche Geſtalt an. In einem oben offenen Gefäße iſt die Oberfläche des Flüſſigen eine wagerechte Ebene, alſo ſenkrecht auf die Richtung der Schwere. Dieſer Satz, deſſen Richtigkeit überall die Erfahrung beſtätigt, folgt mit innerer Nothwendigkeit aus der Schwere und leichten Verſchiebbarkeit der Theile des Flüſſigen, indem bei einer geneigten Oberfläche, welche mit der Richtung der Schwere einen ſchiefen Winkel bildete, die oberſten Theile über die darunter liegenden, wie über eine ſchiefe Ebene, herabgleiten würden. — Eine Abweichung von der wagerechten Oberfläche des Flüſſigen findet jedoch, wie wir ſchon früher (§. 14) geſehen haben, am Rande des Gefäßes ſtatt, indem z. B. Waſſer in einem Glaſe am Rande höher, Queckſilber aber niedriger, als in der Mitte ſteht. — In ſehr großen Behältern, wie z. B. in der Oſtſee, iſt die Oberfläche des Waſſers ein Theil der gekrümmten Oberfläche der Erde.

§. 47. Verbreitung eines einſeitig auf eine Flüſſigkeit ausgeübten Druckes nach allen Seiten hin.

Eine Folge der leichten Verſchiebbarkeit der Theile des Flüſſigen iſt die Eigenſchaft, daß ein einſeitig auf eine Flüſſigkeit ausgeübter Druck ſich nach allen Seiten hin gleichmäßig verbreitet. Um uns den Sinn dieſes Satzes zu verdeutlichen, denken wir uns ein cylinderförmiges Gefäß ABCD, Fig. 56, welches mit Waſſer angefüllt iſt und in einen cylinderförmigen Hals EFGH ausläuft. Wird vermittelſt eines beweglichen, aber dicht anſchließenden Kolbens K auf das Waſſer ein Druck P ausgeübt, welchen wir als groß genug annehmen wollen, daß wir gegen denſelben das eigene Gewicht des Flüſſigen als unbedeutend außer Acht laſſen können, ſo erleidet auch jede mit der Grundfläche des Kolbens K gleich große Stelle in dem Boden oder in

(Fig. 56.)

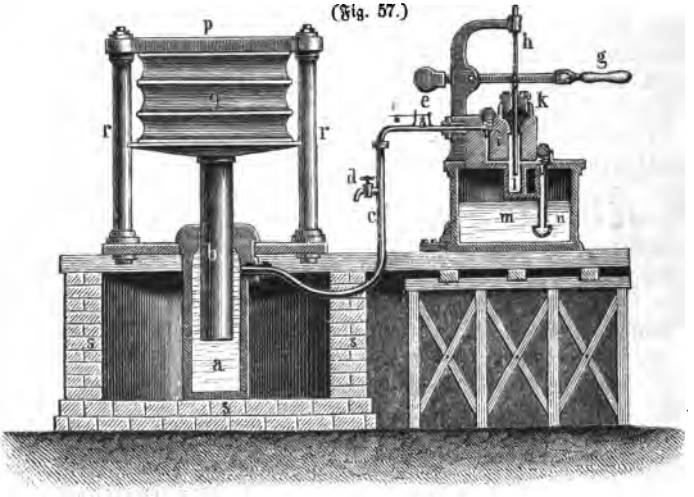


einer Seitenwand des Gefäßes einen P gleichen Druck, und eine größere oder kleinere Stelle erleidet einen nach Verhältniß ihrer Größe größeren oder kleineren Druck. Wenn daher eine der Grundfläche des Kolbens gleiche Stelle in dem Boden oder in einer Seitenwand beweglich wäre, so würde man, um das Hervordringen des Waſſers zu verhindern, von Außen einen P gleichen Gegendruck anbringen müſſen.

Einen eben ſolchen Druck, wie die Wände des Gefäßes, erleiden auch die Theile des Flüſſigen ſelbſt oder ein in die Flüſſigkeit eingetauchter Körper L. Dieſer erfährt von der ihn umgebenden Flüſſigkeit an jeder Stelle ſeiner Oberfläche einen der verhältnißmäßigen Größe derſelben entſprechenden Druck, ſo daß ſich der eingetauchte Körper durch einen auf den Kolben ausgeübten, hinreichend ſtarken Druck zerdrücken läßt, obſchon dieſer Druck von K nach L nur durch die Flüſſigkeit fortgepflanzt wird.

Der eben aufgeſtellte Satz findet eine ſehr nützliche Anwendung in der hydrauliſchen Preſſe, Fig. 57. Dieſe beſteht im Weſentlichen aus zwei mit Waſſer gefüllten und durch eine Röhre c verbundenen Cylindern, einem weiteren a und einem engeren l.

(Fig. 57.)



In dem weiteren befindet ſich die bewegliche Kolbenſtange b, in dem engeren kann vermittelſt des Hebelarmes g die Kolbenſtange h, welche durch die Stopfbüchſe k luft- und waſſerdicht hinuntergeht, auf- und niederbewegt werden. Wird vermittelſt des Hebelarmes g die Kolbenſtange h in die Höhe gezogen, ſo tritt vermöge des äußeren Luftdruckes Waſſer aus dem Behälter m durch die Steigröhre n in den Cylinder l. An dem unteren Ende derſelben iſt zur Abhaltung von Unreinigkeit ein feines Sieb, am oberen Ende aber ein Ventil angebracht, welches ſich beim Niederdrücken der Kolbenſtange h ſchließt und den Rücktritt des Waſſers in den Behälter m verhindert.

Das zuſammengepreßte Waſſer öffnet daher das bei i in der Communicationsröhre c befindliche Ventil und treibt den in dem Cylinder a befindlichen Kolben b in die Höhe, wodurch die über demſelben befindliche Laſt q gegen die eiſerne Platte p gepreßt wird. Dieſe iſt durch Schrauben mit den eiſernen Säulen rr, welche auf dem Mauerwerke ss ruhen, feſt verbunden. Wird die Kolbenſtange h in die Höhe gezogen, ſo ſchließt ſich das Ventil i, aus dem Waſſerbehälter tritt auf's neue Waſſer in den Cylinder l, welches beim Niedergange der Kolbenſtange durch die Röhre c nach dem größeren Cylinder a hingetrieben wird u. ſ. w. Soll der auf den Kolben b ausgeübte Druck nachlaſſen, ſo wird durch die Oeffnung des Hahnes d dem zuſammengepreßten Waſſer ein Abfluß dar-

geboten. Außerdem ist an der Röhre c noch das Sicherheitsventil e angebracht, welches sich bei einem der Haltbarkeit der einzelnen Theile Gefahr drohenden Drucke öffnet.

Vermittelst der hydraulischen Presse läßt sich bei Anwendung einer mäßigen Kraft ein sehr großer Druck ausüben. So vielmal nehmlich der Querdurchschnitt des kleinen Kolbens in dem des größeren enthalten ist, so viel übertrifft die Kraft, mit welcher dieser in die Höhe getrieben wird, den auf jenen ausgeübten Druck. Es habe z. B. der kleinere Kolben einen Durchmesser von $^1/_4$", der größere von 12"; dann verhalten sich ihre Grundflächen wie $^1/_{16} : 144 = 1 : 2304$. Wenn nun der Druck auf den kleineren Kolben vermittelst eines Hebels, dessen Arme sich wie 1 : 20 verhalten, ausgeübt wird, und am längeren Hebelarme ein Arbeiter mit einer Kraft von 50 ℔ niederdrückt, so giebt dies auf den kleineren Kolben selbst einen Druck von 1000 ℔, und der größere Kolben wird folglich mit einer Kraft von 2,304,000 ℔ in die Höhe getrieben. Nehmen wir an, daß $^1/_4$ der Wirkung durch die Reibung der Kolben an den Wänden der Cylinder verloren geht, so bleibt dennoch der ungeheure Effect von 1,728,000 ℔ übrig. Mit einer so großen Kraft wird also ein zwischen dem größeren Kolben und einer festen Wand befindlicher Körper zusammengepreßt werden. — Man benutzt die hydraulische Presse häufig in Fabriken zum Pressen von Tuch und Papier, ferner zum Probiren von Ankerketten, Drathseilen, Stäben zu Kettenbrücken, zur Untersuchung der rückwirkenden Festigkeit u. dgl. m.

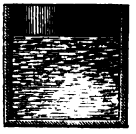
§. 48. Compression der Flüssigkeiten.

Wenn ein flüssiger Körper einen sehr starken Druck erleidet, so vermindert sich sein Volumen; bei nachlassendem Drucke aber dehnt sich derselbe wieder aus und nimmt, wenn der Druck ganz aufhört, seinen früheren Raum wieder ein. Diese Compression ist jedoch bei allen Flüssigkeiten sehr gering und beträgt z. B. beim Wasser bei einem Drucke von 100 Atmosphären, d. h. bei dem Drucke einer Wassersäule von ohngefähr 3300 Fuß Höhe, noch nicht ganz $^1/_{200}$ des ursprünglichen Volumens. Wenn man also im Meere in immer größere Tiefen hinabsteigt, so wird die Dichtigkeit des Meerwassers zunehmen, aber selbst in der großen Tiefe von 3000 Fuß die Dichte des Wassers an der Oberfläche noch nicht um $^1/_{200}$ übertreffen, vorausgesetzt nehmlich, daß die Temperatur und die Bestandtheile des Meerwassers in der Tiefe dieselben sind, wie an der Oberfläche.

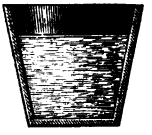
§. 49. Druck des Wassers auf den Boden der Gefäße.

Das Wasser, welches sich in einem Gefäße befindet, übt sowohl auf den Boden, als auch auf die Seitenwände einen Druck aus. In einem cylinderförmigen Gefäße mit senkrechten Wänden, Fig. 58, ist dieser Druck offenbar dem Gewichte des in dem Gefäße enthaltenen Wassers gleich, also

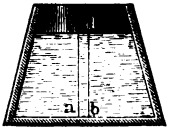
(Fig. 58.)



(Fig. 59.)



(Fig. 60.)



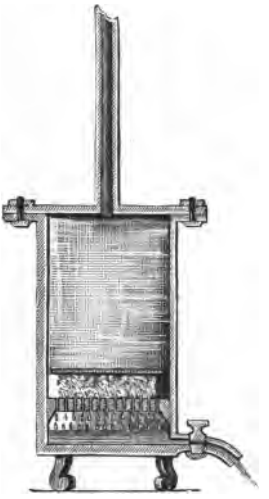
gleich dem Gewichte einer Wassersäule, welche den Boden des Gefäßes zur Grundlage und die Höhe des Wasserspiegels über dem Boden zur Höhe hat. Diese Regel für die Bestimmung des Bodendrucks gilt aber auch für Gefäße, deren Wände sich nach oben erweitern oder verengern; und es ist folglich in dem Fig. 59 verzeichneten Gefäße der Druck auf den Boden kleiner, in dem Fig. 60 dargestellten Gefäße aber größer als das Gewicht der in dem Gefäße enthaltenen Wassermasse. — Das Erste begreift man leicht,

da in dem Gefäße, Fig. 59, auch die schiefen Wände einen Theil des Wassers tragen. Für das in Fig. 60 gezeichnete Gefäß aber ergiebt sich die Richtigkeit der aufgestellten Behauptung durch folgende Ueberlegung:

Es sei ab irgend ein senkrecht unter dem Wasserspiegel liegender Theil des Bodens; dann erleidet derselbe offenbar den Druck der ganzen Wassersäule abcd, welche ab zur Grundfläche und den Abstand des Wasserspiegels vom Boden zur Höhe hat. Diesen nehmlichen Druck erleidet auch die unterste auf ab ruhende Wasserschicht, welche wir uns so dünn denken wollen, daß wir ihr eigenes Gewicht vernachlässigen können. Da aber im Wasser, wie wir in §. 47 gesehen haben, jeder einseitig ausgeübte Druck sich nach allen Seiten hin fortpflanzt, so muß auch die ganze auf dem Boden befindliche unterste Wasserschicht und also auch der Boden selbst an jeder mit ab gleichen Stelle einen eben so großen Druck, wie ab selbst erleiden. Demnach erleidet der ganze Boden einen Druck, welcher gleich ist dem Gewichte einer Wassersäule, welche den Boden zur Grundfläche und die Höhe des Wasserspiegels über dem Boden zur Höhe hat.

Wenn nun hiernach der Druck auf den Boden größer ist, als das Gewicht der in dem Gefäße, Fig. 60, enthaltenen Wassermasse, so übt doch das Gefäß selbst, wenn es mit dem Boden auf irgend eine Unterlage gestellt wird, keinen größeren Druck aus, als dem Gewichte des in demselben enthaltenen Wassers entspricht, indem dieses auch aufwärts auf die schiefen Seitenwände einen Druck ausübt, welcher dem Drucke auf dem Boden entgegenwirkt.

(Fig. 61.)



Eine nützliche Anwendung des Druckes auf den Boden und seiner Verbreitung nach allen Seiten hin ist Real's Auflösungspresse, Fig. 61. Diese besteht aus einem cylinderförmigen Gefäß mit starken Wänden, in welchem sich die auszupressende Substanz zwischen zwei Platten befindet, von denen die untere siebartig durchlöchert ist. Nachdem der Cylinder mit dem Auflösungsmittel, Wasser, Spiritus u. dgl. gefüllt ist, wird auf denselben ein dicht anschließender Deckel aufgeschraubt, welcher in der Mitte mit einer senkrechten, langen, aber engen (in der Figur abgekürzt gezeichneten) Röhre versehen ist. Wird diese nun mit Wasser gefüllt, so läßt sich auf das Auflösungsmittel und die auszupressende Substanz mit einer geringen Menge Wasser ein starker Druck ausüben und so ein kräftiger Extrakt erhalten. Ein großer Vortheil dieser Vorrichtung besteht darin, daß sich das Auflösungsmittel kalt anwenden läßt, indem viele Substanzen durch die Hitze Veränderungen, z. B. in der Farbe, im Geschmack u. dgl. erleiden.

§. 50. Druck des Wassers auf die Seitenwände der Gefäße.

So wie auf den Boden, so übt das Wasser auch auf die Wände der Gefäße, in denen es sich befindet, einen Druck aus; dieser Druck ist aber nicht für alle Stellen einer Seitenwand derselbe, sondern nimmt mit der Tiefe zu. Er ist nehmlich für jede Stelle einer Seitenwand gleich dem Gewichte einer Wassersäule, welche diese Stelle zur Grundfläche und die Höhe des Wasserspiegels über dem Schwerpunkte der gedrückten Stelle zur Höhe hat.

Da die gegenüberstehenden Seitenwände einen gleichen Druck erleiden, so hebt dieser Druck sich gegenseitig auf. Macht man aber in eine Wand eine Oeffnung, so daß das Wasser ausfließen kann, so erleidet die gegenüberstehende Wand einen größeren Druck, als die Wand, in welcher sich die Oeffnung befindet. Kann man die Oeffnung willkührlich öffnen und schließen, und hängt man das Gefäß bei verschlossener Oeffnung senkrecht an einem Faden auf, so wird es, wenn man die Oeffnung öffnet, so daß das Wasser ausfließen kann, jetzt nicht mehr senkrecht hängen, sondern nach der Seite hin abweichen, welche dem ausfließenden Wasserstrahl gegenüberliegt. Auf dieser rückwirkenden Kraft des ausfließenden Wassers beruht das Segner'sche Wasserrad*). Dieses besteht nehmlich aus einem hohlen um seine Axe drehbaren Gefäße, welches unten mit seitwärts gebogenen Ausflußröhren versehen ist, Fig. 62. Wird in das Gefäß von oben her Wasser geleitet, welches durch die Röhren ausfließt, so dreht sich dasselbe in der entgegengesetzten Richtung um seine Axe.

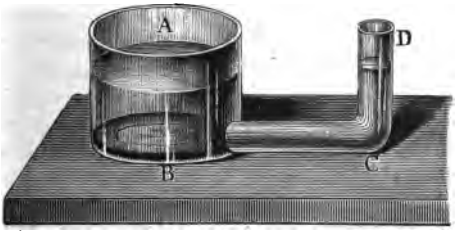
(Fig. 62.)

Auf demselben Principe beruhen auch die in neuerer Zeit häufig in Anwendung gekommenen horizontalen Wasserräder, welche man Turbinen nennt, auf deren nähere Beschreibung wir jedoch hier nicht eingehen können.

§. 51. Communicirende Röhren.

Zwei Gefäße, welche einen solchen Zusammenhang haben, daß das Wasser frei aus dem einen in das andere treten kann, heißen communicirende Röhren. Von diesen gilt das Gesetz: In communicirenden Röhren steht das Wasser in beiden Schenkeln gleich hoch. — Wenn das Wasser in dem engeren Schenkel CD, Fig. 63, höher, als in dem weiteren AB stände, so würde das Wasser in der verbindenden Röhre von C her einen stärkeren Druck, als von B her erleiden. Das Gleichgewicht kann folglich nur bestehen, wenn beide Wasserspiegel, im weiten und im engen Schenkel, eine gleiche Höhe haben.

(Fig. 63.)

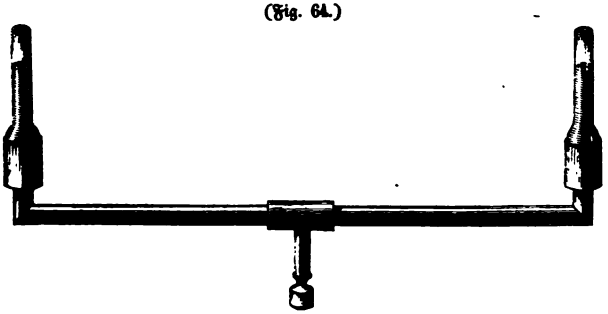


Auf diesem Satze beruht die Canalwage, welche beim Nivelliren gebraucht wird und aus einer blechernen mit Wasser gefüllten Röhre,

*) Segner machte dasselbe zuerst 1750 bekannt.

Fig. 64, besteht, die an ihren Enden zwei senkrecht in die Höhe gehende gläserne Cylinder trägt. Die Oberflächen des Wassers in den beiden Glascylindern liegen allemal in einer wagerechten Linie.

(Fig. 64.)

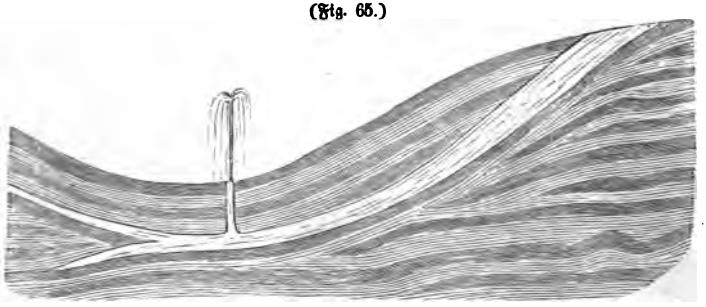


Der Satz von den communicirenden Röhren findet ferner wichtige Anwendung bei Wasserleitungen. Es folgt nehmlich aus demselben, daß sich das Wasser durch Röhren zu jeder Stelle hinleiten läßt, welche nicht höher liegt, als die Quelle, von welcher das Wasser ausfließt.

Eben so erklärt es sich hieraus, daß das Wasser in Teichen, auf überschwemmten Wiesen, in Brunnen u. dgl., welche sich in der Nähe von Flüssen befinden, gleichzeitig mit diesen steigt und fällt, indem das poröse Erdreich nicht allen Zusammenhang aufhebt, sondern die Poren desselben gleichsam verbindende Canäle herstellen.

Es gehört ferner hierher das Emporsteigen des Wassers in Bohrlöchern, welche man in die Erde treibt. Das durch poröse Gesteine oder Felsenspalten in die Tiefe eindringende Regenwasser sammelt sich hier theils in großen Becken, theils fließt es in unterirdischen Canälen fort; theils füllt es die Zwischenräume poröser oder zerklüfteter Gesteine aus. Verdankt dieses Wasser nun seinen Ursprung höher gelegenen Stellen und befindet es sich

(Fig. 65.)



zwischen zwei dichten Erd- oder Felsschichten, wie z. B. Lehm, Thon, Mergel u. dgl., welche sowohl sein weiteres Eindringen in die Tiefe, als sein Emporsteigen hindern, und man treibt im Thale ein Bohrloch durch die überdeckende wasserdichte Schicht bis in die wasserhaltige Schicht, so steigt das Wasser in dem Bohrloche und unter günstigen Umständen selbst bis über die Mündung desselben empor. — Man nennt diese gebohrten Brunnen,

da sie zuerst in der Grafschaft Artois in häufige Anwendung gekommen sind, gewöhnlich artesische.

Quellen verdanken überhaupt ihre Entstehung dem durch das lockere Erdreich oder durch zerklüftetes Gestein allmählig hindurch sickernden Regenwasser; sie finden sich daher am häufigsten an den Abhängen der Berge; nirgends auf der Erde wird eine Quelle auf dem höchsten Gipfel eines Gebirges angetroffen; überall, wo Quellen sich finden, sind den hydrostatischen Gesetzen gemäß in deren Nähe höher emporragende Bergrücken oder Kuppen vorhanden, von denen aus — durch das von diesen aufgenommene Regenwasser — die Quellen gespeist werden. — Wenn bei anhaltend trockener Witterung der Wasserspiegel in einem unterirdischen Behälter bis unter die Mündung der Quellen hinabgeht, welche aus demselben ihren Zufluß erhalten, so hören dieselben auf zu fließen, und wenn diese Mündungen eine ungleiche Höhe haben, so werden die höher gelegenen früher trocken und beginnen nach vorangegangener nasser Witterung später wieder zu fließen, als die tiefer gelegenen. — In allen bewohnten und bewohnbaren Erdstrichen findet zu keiner Zeit eine so anhaltende Dürre statt, daß alle Quellen versiegten.

Wenn sich in den beiden Schenkeln communicirender Röhren Flüssigkeiten von verschiedenem specifischen Gewichte, z. B. Wasser und Queckfilber, befinden, so müssen sich, wie leicht zu sehen, die Höhen dieser Flüssigkeiten in den beiden Schenkeln umgekehrt wie die specifischen Gewichte verhalten.

§. 52. Gewichtsverlust fester Körper im Wasser.

Jeder Körper verliert im Wasser so viel an Gewicht, als die Wassermasse wiegt, welche er aus der Stelle treibt. Die Richtigkeit dieses wichtigen Satzes, welcher zuerst von Archimedes (250 v. Chr.) aufgefunden worden ist und daher auch das archimedische Princip genannt wird, geht leicht daraus hervor, daß ohne das Vorhandensein des eingetauchten Körpers der von demselben eingenommene Raum mit Wasser ausgefüllt sein würde, welches von den umgebenden Wassertheilen getragen wird. So viel also, als diese Wassermasse wiegt, so viel muß der Druck, welchen das umgebende Wasser in lothrechter Richtung von unten her ausübt, den von oben her ausgeübten Druck übertreffen.

Nun können drei Fälle stattfinden, entweder der eingetauchte Körper ist schwerer, als das verdrängte Wasser; dann sinkt er zu Boden; — oder der Körper ist eben so schwer, als eine gleiche Wassermasse; dann ruht er an jeder Stelle im Wasser; — oder der eingetauchte Körper ist leichter, als das verdrängte Wasser; dann wird er in die Höhe getrieben, mit einer Kraft, welche gleich ist dem Unterschiede zwischen seinem eigenen Gewichte und dem des durch ihn verdrängten Wassers. Der Körper kann also nicht im Wasser, wohl aber auf demselben ruhen, wenn ein Theil ins Wasser taucht, der andere darüber hervorragt. Man sagt dann, der Körper schwimmt im Wasser.

Damit ein Körper auf dem Wasser schwimmen könne, ist nicht unbedingt erforderlich, daß er specifisch leichter ist, als Wasser; auch specifisch schwerere Körper können zum Schwimmen gebracht werden, wenn man sie aushöhlt oder mit specifisch leichteren Körpern verbindet. Damit aber ein schwimmender Körper sich im Gleichgewicht befinde, sind zwei Bedingungen unerläßlich: 1) das Gewicht des durch den eingetauchten Theil verdrängten

Wassers muß gleich sein dem ganzen Gewichte des Körpers und 2) der Schwerpunkt des Körpers und der Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse müssen in lothrechter Linie liegen.

Die Stabilität des schwimmenden Körpers ist im Allgemeinen um so größer, je tiefer sein Schwerpunkt unter den Schwerpunkt des Wassers fällt, welches er aus der Stelle treibt. Dies ist der Grund, warum die Schiffer den unteren Schiffsraum mit möglichst schweren Körpern, Ballast, ausfüllen. Indem hierdurch der Schwerpunkt des Schiffes erniedrigt wird, gewinnt dasselbe an Stabilität.

Bei den Fischen trägt die Schwimmblase, welche mehrentheils unter dem Rückgrath liegt, dazu bei, den oberen Theil des Fisches leichter als den unteren zu machen, und die Stabilität desselben beim Schwimmen zu vermehren. — Außerdem gewährt dieselbe den Fischen den großen Nutzen, indem sie durch den Druck der Rippen die in der Schwimmblase enthaltene Luft zusammenpressen, welche sich bei nachlassendem Drucke wieder ausdehnt, ihr Volumen willkührlich vergrößern und verkleinern und so im Wasser auf- und niedersteigen zu können.

(Fig. 66.)

Auf ähnlichem Principe beruht der cartesianische Taucher, Fig. 66. Dieser besteht aus einer kleinen gläsernen, inwendig hohlen Figur, welche in einem oben mit Blase zugebundenen und mit Wasser gefüllten Glase schwimmt. An dem unteren Ende der Figur ist eine kleine seitwärts gebogene Röhre angebracht, durch welche das Wasser in das Innere der Figur eintreten würde, wenn nicht die im Innern enthaltene Luft diesem widerstände. Wird nun aber auf die elastische Blase, welche über das Glas gebunden ist, von Außen ein Druck ausgeübt, welcher sich durch das Wasser fortpflanzt, so tritt dieses in das Innere der Figur ein, indem die darin enthaltene Luft zusammengedrückt wird, und die hierdurch schwerer gewordene Figur sinkt zu Boden; sie steigt aber wieder in die Höhe, wenn der äußere Druck auf die Blase nachläßt, indem nun die in der Figur enthaltene Luft das Wasser wieder austreibt und so die Figur erleichtert wird, (wobei sich die Figur nach dem Principe des Segner'schen Wasserrades im Kreise dreht).

Man unterscheidet natürliches und künstliches Schwimmen. Das oben Gesagte gilt zunächst nur vom natürlichen Schwimmen. Beim künstlichen Schwimmen wird ein Körper durch gegen das Wasser ausgeübte Stöße über der Oberfläche desselben erhalten. — Obschon der Körper der meisten Menschen ein Wenig specifisch leichter, als gewöhnliches Wasser ist, so können sie sich doch nur durch künstliches Schwimmen vor dem Ertrinken sichern, da hierzu erforderlich ist, daß der Mund oder doch wenigstens die Nase, also bei der Lage auf dem Bauche, auch ein großer Theil des Kopfes sich außerhalb des Wassers befindet, wonach denn bald einleuchtet, warum man bequemer auf dem Rücken, als auf dem Bauche schwimmt. Uebrigens ist auch bei demselben Menschen das specifische Gewicht veränderlich, und natürlich nach starkem Einathmen, wobei sich der Brustkasten erweitert, geringer, als nach starkem Ausathmen. — Durch ein sehr geringes specifisches Gewicht zeichnete sich der Neapolitaner Paolo Moccia aus, welcher nur bis an die Mitte der Brust im Meerwasser einsank und im Jahre 1767 bei Neapel verschiedene Kunststücke machte.

§. 53. Bestimmung des specifischen Gewichtes fester und flüssiger Körper.

Das archimedische Princip, daß jeder Körper im Wasser so viel an Gewicht verliert, als eine ihm gleiche Wassermasse wiegt, liefert ein treffliches Mittel, das specifische Gewicht fester Körper zu finden. Man wiegt nehmlich den Körper zunächst auf gewöhnliche Weise in der Luft und hierauf, indem man ihn an einen feinen Faden aufhängt, im Wasser. Der

Gewichtsverluſt, den er im Waſſer erleidet, in das abſolute Gewicht des Körpers dividirt, giebt ſein ſpecifiſches Gewicht. — Wiegt z. B. ein Stück Kalkſpath in der Luft 250 Gran, im Waſſer 158 Gran, ſo iſt ſein Gewichtsverluſt im Waſſer, (alſo das Gewicht einer Waſſermaſſe, welche mit dem Körper gleiches Volumen hat,) = 250 — 158 = 92 Gran, folglich ſein ſpecifiſches Gewicht $^{250}/_{92}$ = 2,717.

Um das ſpecifiſche Gewicht eines Körpers zu beſtimmen, welcher leichter iſt, als Waſſer, verbindet man ihn mit einem ſpecifiſch ſchwereren Körper, z. B. einem Stück Blei, nachdem man vorher das abſolute Gewicht, ſo wie auch den Gewichtsverluſt dieſes Körpers im Waſſer beſtimmt hat.

Wenn ein Körper, wie z. B. Steinſalz, im Waſſer löslich iſt, ſo beſtimmt man ſeinen Gewichtsverluſt in einer Flüſſigkeit von bekanntem ſpecifiſchem Gewichte, in welcher ſich derſelbe nicht auflöſt, z. B. im Alkohol. So vielmal nun Alkohol leichter iſt, als Waſſer, ſo vielmal würde auch der Gewichtsverluſt des Steinſalzes im Waſſer größer ſein, als im Alkohol.

Um das ſpecifiſche Gewicht einer Flüſſigkeit, z. B. des Alkohol, (reinen Spiritus) zu finden, bedient man ſich am bequemſten eines Fläſchchens mit wohl eingeſchliffenem, gläſernen Pfropfen. Beſtimmt man nun zunächſt das Gewicht des leeren Fläſchchens und dann daſſelbe Gewicht, nachdem man das Fläſchchen einmal mit Waſſer, das anderemal mit Spiritus gefüllt hat, und bringt beidemal das Gewicht des Fläſchchens in Abrechnung, ſo hat man die Gewichte beider Volumina Waſſer und Spiritus und erhält nun das ſpecifiſche Gewicht des Spiritus, indem man das erſtere Gewicht in letzteres dividirt.

Gewöhnlich wendet man ein Fläſchchen an, welches genau tauſend Gran deſtillirten Waſſers faßt, wodurch man der Arbeit des Dividirens überhoben wird. Wiegt der das Fläſchchen füllende Spiritus z. B. 791 Gran, ſo iſt das ſpecifiſche Gewicht desſelben = $^{791}/_{1000}$ = 0,791.

(Fig. 67.)

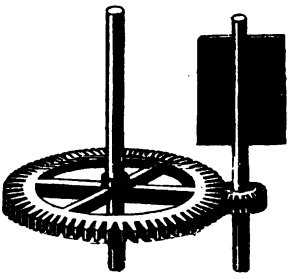
Bei der Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichtes feſter Körper wendet man gewöhnlich eine Wage, Fig. 67, an, deren eine Wagſchale höher aufgehängt iſt, als die andere, und unten einen Haken hat, an welchem der zu unterſuchende Körper aufgehängt wird. Man nennt eine ſolche Wage eine hydroſtatiſche.

Bei ſehr genauen Beſtimmungen hat man auch auf den Gewichtsverluſt des Fadens im Waſſer, ja ſelbſt auf den Gewichtsverluſt, den der zu prüfende Körper in der Luft erleidet, und auf die Temperatur des Waſſers Rückſicht zu nehmen, indem das Waſſer und der feſte Körper ſich nicht gleichmäßig mit der Wärme ausdehnen. Gewöhnlich nimmt man reines deſtillirtes Waſſer zwiſchen 15°—20° C.

Roſe in Berlin hat für Gold, Silber und andere Körper gefunden, daß, wenn man dieſelben in fein pulveriſirtem Zuſtande, wie derſelbe durch chemiſche Niederſchläge erhalten wird, anwendet, ſich das ſpecifiſche Gewicht höher ergiebt, als wenn die nehm-

Pferdes zu 100 ℔ angenommen, so ergeben sich hieraus 3600 ℔ = 36 ℭ. als Ladung für ein Pferd auf einer vollkommen horizontalen Straße. — Auf Eisenbahnen ist die zum Fortschaffen der Lasten erforderliche Kraft in der Ebene ohngefähr $^1/_{200}$ vom Gewichte der Last, also zehnmal geringer, als auf einer Chaussee. Dagegen ist schon bei einer Neigung von 1 in 360 der doppelte Aufwand an Kraft erforderlich.

(Fig. 55.)



Man macht von dem Widerstande der Luft eine nützliche Anwendung in den sogenannten Windfängen, welche verhindern sollen, daß die Geschwindigkeit der Bewegung einer Maschine eine gewisse Grenze nicht überschreite. Man bringt nehmlich an einer Welle, welcher durch das Räderwerk der Maschine die größte Geschwindigkeit ertheilt wird, Flügel an, welche von der Luft einen um so größeren Widerstand erfahren, je rascher die Umdrehung erfolgt, und daher dahin wirken, einen zu raschen Gang der Maschine zu verhindern. — Am bekanntesten sind die Windfänge an den Schlagwerken unserer Uhren.

*§. 44. Geschichtliche Uebersicht.

250 v. Chr. Archimedes erweist die Gesetze des Hebels, des Flaschenzuges, der schiefen Ebene, der Schraube u. s. w. Eben so lehrt er auch den Schwerpunkt der Körper auf mathematischem Wege bestimmen.

1600 — 1700 n. Chr. Die Untersuchungen verschiedener Physiker führen zur Entdeckung des Theorems vom Parallelogramm der Kräfte, welches zuerst für Kräfte, welche unter einem rechten Winkel zusammenstoßen, später allgemein für Kräfte, deren Richtungen einen beliebigen Winkel einschließen, erwiesen wird.

1602. Galilei entdeckt die Gesetze des freien Falles, des Falles auf der schiefen Ebene und der Pendelschwingungen.

1610. Keppler entdeckt die allgemeinen Gesetze der Bewegungen der Planeten.

1658. Huyghens vervollständigt Galilei's Entdeckungen über das Pendel und wendet dasselbe als Zeitmaaß an. Derselbe lehrt auch die Schwungkraft (Centrifugalkraft) berechnen.

1682. Newton entdeckt das allgemeine Gravitationsgesetz.

Da die Entdeckungen der neueren Physiker in den mechanischen Wissenschaften sich auf die höhere Analysis gründen, so haben sie in diesem Lehrbuche keine Aufnahme finden können.

Dritter Abschnitt.

Von den mechanischen Erscheinungen flüssiger Körper.

§. 45. Von den flüssigen Körpern im Allgemeinen.

Die flüssigen Körper unterscheiden sich von den festen durch die leichte Verschiebbarkeit ihrer Theile. — Die Zahl derjenigen Körper, welche sich uns bei der gewöhnlichen Temperatur im flüssigen Zustande zeigen, ist eine ziemlich beschränkte. Die bekanntesten Flüssigkeiten sind Wasser, Weingeist,

Oele, Aether, Queckſilber. Die meiſten anderen Flüſſigkeiten, wie z. B. Bier, Wein, Branntwein, Eſſig u. ſ. w. ſind Miſchungen des Waſſers mit anderen Flüſſigkeiten oder feſten Körpern, welche im Waſſer aufgelöſt ſind.

Wir werden es in dieſem Abſchnitte nur mit den *mechaniſchen Eigenſchaften* der Flüſſigkeiten, welche durch die *Schwere* und die leichte *Verſchiebbarkeit der Theile* bedingt werden, zu thun haben und dieſelben vorzüglich an der verbreitetſten aller Flüſſigkeiten, dem Waſſer, ſtudiren.

Mehrere der im vorhergehenden Abſchnitte zunächſt für feſte Körper entwickelten Geſetze, z. B. über die Zuſammenſetzung und Zerlegung der Kräfte, über den Schwerpunkt, den Fall und die Wurfbewegung, gelten auch für flüſſige Körper, ſo lange nehmlich nicht durch die leichte Verſchiebbarkeit der Theile eine Verſchiedenheit hervorgerufen wird.

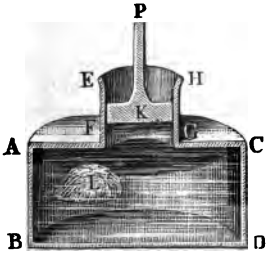
§. 46. Oberfläche des Flüſſigen in einem offenen Gefäße.

Wegen der Schwere und leichten Verſchiebbarkeit der Theile können wir eine Flüſſigkeit nicht für ſich allein, getrennt von anderen Körpern, (wenigſtens nicht in größerer Maſſe,) erhalten, ſondern müſſen dieſelbe in Gefäße mit feſten Wänden einſchließen. Indem die Flüſſigkeit den Raum des Gefäßes ausfüllt, nimmt ſie natürlich die demſelben eigenthümliche Geſtalt an. In einem oben offenen Gefäße iſt *die Oberfläche des Flüſſigen eine wagerechte Ebene*, alſo ſenkrecht auf die Richtung der Schwere. Dieſer Satz, deſſen Richtigkeit überall die Erfahrung beſtätigt, folgt mit innerer Nothwendigkeit aus der Schwere und leichten Verſchiebbarkeit der Theile des Flüſſigen, indem bei einer geneigten Oberfläche, welche mit der Richtung der Schwere einen ſchiefen Winkel bildete, die oberſten Theile über die darunter liegenden, wie über eine ſchiefe Ebene, herabgleiten würden. — Eine Abweichung von der wagerechten Oberfläche des Flüſſigen findet jedoch, wie wir ſchon früher (§. 14) geſehen haben, am Rande des Gefäßes ſtatt, indem z. B. Waſſer in einem Glaſe am Rande höher, Queckſilber aber niedriger, als in der Mitte ſteht. — In ſehr großen Behältern, wie z. B. in der Oſtſee, iſt die Oberfläche des Waſſers ein Theil der gekrümmten Oberfläche der Erde.

§. 47. Verbreitung eines einſeitig auf eine Flüſſigkeit ausgeübten Druckes nach allen Seiten hin.

Eine Folge der leichten Verſchiebbarkeit der Theile des Flüſſigen iſt die Eigenſchaft, daß *ein einſeitig auf eine Flüſſigkeit ausgeübter Druck ſich nach allen Seiten hin gleichmäßig verbreitet*. Um uns den Sinn dieſes Satzes zu verdeutlichen, denken wir uns ein cylinderförmiges Gefäß ABCD, Fig. 56, welches mit Waſſer angefüllt iſt und in einen cylinderförmigen Hals EFGH ausläuft. Wird vermittelſt eines beweglichen, aber dicht anſchließenden Kolbens K auf das Waſſer ein Druck P ausgeübt, welchen wir als groß genug annehmen wollen, daß wir gegen denſelben das eigene Gewicht des Flüſſigen als unbedeutend außer Acht laſſen können, ſo erleidet auch jede mit der Grundfläche des Kolbens K gleich große Stelle in dem Boden oder in

(Fig. 56.)



*§. 54. Ausfluß des Wassers aus Oeffnungen.

Wenn das Wasser aus einer engen Oeffnung im Boden eines Gefäßes ausfließt, so ist die Geschwindigkeit desselben um so größer, je tiefer die Oeffnung unter dem Wasserspiegel liegt. Diese Geschwindigkeit ist nahe derjenigen gleich, welche ein Körper beim freien Falle erlangt, wenn er durch eine Höhe gefallen ist, welche der Tiefe der Oeffnung unter dem Wasserspiegel gleich ist. Sie nimmt ab, so wie das Wasser im Gefäße sinkt.

Befindet sich in der Seitenwand eines Gefäßes eine Oeffnung, so hat der ausfließende Strahl die Gestalt der krummen Linie, welche ein mit der Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers wagerecht geworfener Körper beschreibt, also nahe die Gestalt einer Parabel.

Strömt das Wasser durch eine enge Oeffnung aus einer aufwärts gebogenen Röhre, welche mit einem Wasserbehälter verbunden ist, wie dieß bei den Springbrunnen der Fall ist, so müßte es zu Folge des obigen Gesetzes über die Ausflußgeschwindigkeit beinahe bis zur Höhe des Wasserspiegels emporspritzen. Hinter dieser Höhe bleibt es jedoch beträchtlich zurück, vorzüglich deßhalb, weil seine Geschwindigkeit durch die Reibung an den Wänden der Röhre, durch den Widerstand der Luft, auch durch den Druck der zurückfallenden Wassertheile vermindert wird. Wegen dieses letzten Umstandes ist es vortheilhafter, wenn der aufsteigende Wasserstrahl ein Wenig von der senkrechten Richtung abweicht.

In dem Springbrunnen bei Cassel, welcher sein Wasser durch eine Röhrenleitung von dem nahe bei der Wilhelmshöhe liegenden Berge erhält, erreicht das Wasser eine Höhe von 80 bis 90 Fuß.

Wenn wir die Geschwindigkeit des aus einer Oeffnung ausfließenden Wassers mit c, die Höhe des Wasserspiegels über der Oeffnung mit h und den Fallraum für die erste Secunde mit g bezeichnen, so ist nach dem oben angeführten Gesetze und §. 38 Anm. nahe

$$c = 2\sqrt{gh}.$$ *)

Bei verschiedenen Druckhöhen verhalten sich also die Ausflußgeschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln aus diesen Höhen.

Die Menge des ausfließenden Wassers hängt natürlich nicht blos von der Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers, sondern auch von der Größe der Oeffnung ab. Weil aber der ausfließende Wasserstrahl nahe unter dem Boden keine cylinderförmige Gestalt hat, sondern sich etwas zusammenzieht, so muß man bei der Berechnung des aus einer Oeffnung in der Zeiteinheit ausfließenden Wassers statt der Oeffnung den Querdurchschnitt des zusammengezogenen Wasserstrahles, da, wo er am kleinsten ist, setzen. — Diese Zusammenziehung ist bei einem dicken Boden geringer, als bei einem dünnen, was von der Adhäsion an die Wände der Oeffnung herrührt. Aus gleichem Grunde kann durch den Ansatz kurzer Röhren, welche von der ausströmenden Flüssigkeit benetzt werden, die Zusammenziehung des austretenden Wasserstrahles vermindert und daher die Menge des ausfließenden Wassers vermehrt werden. Bei längeren Röhren findet wieder wegen der vermehrten Reibung eine Verminderung des Effectes statt.

*§. 55. Fortbewegung des Wassers in Röhren und Canälen.

In diesen erleidet das fließende Wasser vorzüglich durch die Reibung an den Wänden eine fortwährende Verminderung seiner Geschwindigkeit. Aus gleichem Grunde ist die Geschwindigkeit des fließenden Wassers in einem

*) Es kann hier nicht der Ort sein, zu zeigen, daß nach einer richtigen und gründlichen Theorie dieser Ausdruck nicht für den genauen, sondern nur für einen Näherungswerth von c gelten kann. Vergleiche auch Gehler's phys. Wörterbuch. B. 5. S. 562.

Strome gewöhnlich in der Mitte größer, als nahe am Ufer. Aber auch in der Mitte des Stromes ist die Geschwindigkeit des Wassers niemals so groß, als die in §. 38, Anm. angeführte Regel vorschreibt, nach welcher sie der Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers gleich sein müßte, welcher durch eine gleiche Höhe gefallen ist; und wenn sie auch mit dem Gefälle wächst, so bleibt sie doch immer bedeutend hinter der aus dieser Regel hervorgehenden Größe zurück. Besonders stark wird die Geschwindigkeit des fließenden Wassers vermindert, wenn die Röhre oder der Canal (Strom) Krümmungen macht. Die Wissenschaft ist noch nicht dahingelangt, einfache und allgemein gültige Regeln aufzustellen, nach denen sich die Geschwindigkeit des in Röhren, Canälen oder Strömen fortfließenden Wassers aus dem stattfindenden Gefälle unter Berücksichtigung aller Nebenumstände berechnen ließe.

*§. 56. Stoß des Wassers gegen feste Körper.

Trifft eine bewegte Wassermasse auf eine feste Wand, so übt sie gegen dieselbe einen Druck aus. Dieser ist z. B. bei einer in einen größeren Strom senkrecht auf die Richtung desselben eingetauchten Platte nahe gleich dem Gewichte einer Wassersäule, welche die getroffene Fläche zur Grundfläche und die der Geschwindigkeit des Wassers entsprechende Fallhöhe, (die Höhe, durch welche ein Körper fallen muß, um eine mit dem Wasser gleiche Geschwindigkeit zu erlangen), zur Höhe hat. Diese Regel gilt auch, wenn die Platte von einem freien Wasserstrahle getroffen wird, dessen Querdurchschnitt sie nicht übertrifft. Wenn aber die gestoßene Fläche viel größer ist, so breitet sich der Wasserstrahl aus und übt nun beinahe die doppelte Wirkung aus.

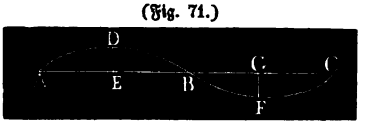
Diese Sätze kommen bei den sogenannten unterschlächtigen Wasserrädern in Anwendung, welche durch den Stoß, den ein Wasserstrom gegen die unteren Schaufeln ausübt, bewegt werden. Ist das Rad einmal in Bewegung, so entspricht die Kraft des Stoßes, welchen das bewegte Wasser gegen die Radschaufeln ausübt, nicht mehr der vollen Geschwindigkeit des Wassers, sondern nur noch dem Unterschiede zwischen dieser Geschwindigkeit und der Geschwindigkeit der Radschaufeln.

Bei den oberschlächtigen Rädern wirkt vorzüglich das Gewicht des von oben in die Kasten einstürzenden Wassers als bewegende Kraft. Sie sind natürlich nur bei einem bedeutenden Gefälle anzuwenden, haben aber dann vor den unterschlächtigen den Vorzug.

§. 57. Wellen.

Die Wellen zeigen sich an der Oberfläche des Wassers als abwechselnde Erhöhungen und Vertiefungen. Man unterscheidet den Wellenberg ADB Fig. 71, und das Wellenthal BFC; jener liegt über, dieses unter der horizontalen Ebene des ruhenden Wasserspiegels. Die Höhe der ganzen Welle ist gleich der Summe aus der Höhe DE des Wellenberges und der Höhe FG des Wellenthales. Eben so ist die Breite AC der ganzen Welle die Summe aus der Breite AB des Wellenberges und der Breite BC des Wellenthales.

(Fig. 71.)



Wellen können auf sehr mannigfaltige Weise im Wasser erregt werden, z. B. durch den Wind, durch den Stoß eines ins Wasser fallenden festen Körpers u. dgl. m. Wirft man einen Stein ins Wasser, so entsteht zunächst eine Vertiefung, um diese ein erhöhter Wall, um diesen wieder eine kreisförmige Vertiefung u. s. w. Indem die Welle so über die Oberfläche des Wassers fortschreitet, haben jedoch die Wassertheilchen selbst keine fortschreitende, sondern nur eine schwingende Bewegung *). Es finden nur abwechselnde Hebungen und Senkungen der Oberfläche des Wassers statt, wie man deutlich sehen kann, wenn leichte Körper auf der Oberfläche schwimmen, indem diese durch die Welle nur abwechselnd gehoben werden und wieder herabsinken, ohne in horizontaler Linie fortbewegt zu werden.

Der zuerst erregten Welle folgen noch einige in ganz gleicher Weise fortschreitende, aber schwächere Wellen, indem die einmal in Bewegung gesetzten Wassertheile nicht bloß in die Lage des Gleichgewichts zurückkehren, sondern wie ein aufgehobenes Pendel diese überschreiten und erst nach einigen Schwingungen wieder zur Ruhe kommen.

Ueber die wellenförmige Bewegung beschränken wir uns folgende Hauptgesetze anzuführen, welche besonders in der Lehre vom Schalle und vom Lichte wichtige Anwendungen finden:

1) Die durch einen Stoß auf der Oberfläche des Wassers erzeugte Welle erweitert sich beständig und bleibt dabei kreisförmig, wenn sie auf kein Hinderniß trifft. Je mehr die Welle sich ausdehnt, um so mehr nimmt ihre Höhe ab, bis dieselbe endlich ganz verschwindet.

2) Werden auf der Oberfläche des Wassers zu gleicher Zeit zwei Wellen erregt, so durchkreuzen sie sich, ohne daß die eine die Fortbewegung der andern stört. Da, wo zwei Wellenberge oder zwei Wellenthäler zusammentreffen, findet eine Vermehrung der Höhen statt; wo aber ein Wellenberg mit einem Wellenthale zusammentrifft, wird diese Höhe vermindert.

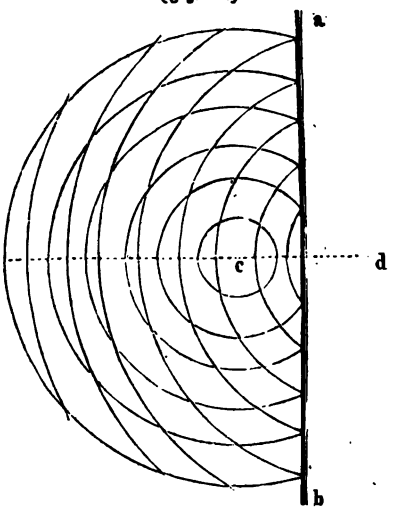
3) Trifft eine Welle auf eine feste Wand in senkrechter Richtung, so wird sie senkrecht zurückgeworfen; es entsteht nehmlich jetzt eine in entgegengesetzter Richtung fortschreitende Welle. Trifft die Welle schief auf die feste Wand, so wird sie unter dem nehmlichen Winkel zurückgeworfen, unter welchem sie auffiel, (so lange sie nehmlich ihre vollkommen kreisförmige Gestalt beibehält, was gewöhnlich nur in der Nähe der reflectirenden Wand stattfindet, indem in größerer Entfernung Unregelmäßigkeiten eintreten ꝛc.).

4) Endlich führen wir noch folgenden von den Gebrüdern Weber angestellten und für die Lehre vom Schalle und vom Lichte wichtigen Versuch an: Wenn man in einem elliptischen Gefäße in dem einen Brennpunkte eine Welle erregt, so entsteht durch Zurückwerfung derselben von den Wänden des Gefäßes eine zweite sich immer mehr verengende Welle, welche ihren Mittelpunkt in dem andern Brennpunkte der Ellipse hat.

Wenn eine Welle im Wasser senkrecht auf eine reflectirende Wand ab, Fig. 72, trifft, so wird sie, wie schon oben bemerkt, auch senkrecht zurückgeworfen; die Kreisbogen der reflectirten Welle haben zum Mittelpunkte einen Punkt d, welcher eben so weit hinter der reflectirenden Wand, als der Mittelpunkt der ankommenden Welle vor derselben liegt.

*) Nach den Untersuchungen der Gebrüder Weber in Göttingen stimmen die Bahnen, welche die Wassertheilchen hierbei durchlaufen, an der Oberfläche mehr oder weniger mit einem Kreise, in größerer Tiefe mit einer Ellipse überein.

(Fig. 72.)



Je stärker der eine Welle erregende Stoß war, um so größer ist auch die Höhe und Breite der erzeugten Welle, und um so größer ist auch die Geschwindigkeit, mit welcher sich dieselbe über die Oberfläche des Wassers ausbreitet. Dagegen ist bei den Schallwellen in der Luft und den Lichtwellen im Aether, welche auf der Elasticität des Fortpflanzungsmittels beruhen, während bei den Wellen im Wasser die Schwere der Wassertheilchen als bewegende Kraft wirkt, die Geschwindigkeit lediglich durch die Elasticität der Luft oder des Aethers bedingt und daher für alle Arten von Schwingungen die nehmliche.

Bei den Wellen im Wasser ist auch die Tiefe desselben nicht ohne Einfluß auf die Geschwindigkeit der Wellen; sie vermindert sich, wenn die Tiefe abnimmt. Im Meere drängen sich daher da, wo über Felsen oder Sandbänken die Tiefe sich plötzlich vermindert, die voranschreitenden Wellen mit den nachfolgenden zusammen, was zur Entstehung der sogenannten Brandungen beiträgt.

Die Wellen des Meeres werden vorzüglich durch den Wind erregt. Ihre Höhe übersteigt in geschlossenen Meeren, wie in der Ostsee und im mittelländischen Meere, selten 8 Fuß, in der offenen See mag sie bei heftigen Stürmen wohl 20 bis 30 Fuß erreichen. Wo indeß zwei Wellen sich durchkreuzen, oder wo die Wellen an steile Felsenwände anprallen und sich über einander thürmen, indem die folgenden die in ihrem Laufe aufgehaltenen vorangehenden ereilen, desgleichen wenn die Wellen zwischen die engen Ufer der Strommündungen zusammengepreßt werden, erreichen sie viel beträchtlichere Höhen. Von dem Edystone-Felsen an der englischen Küste erzählt Smeaton, daß das Wasser zuweilen 100 Fuß höher, als der Leuchtthurm, also 200 Fuß hoch emporgeschleudert werde.

Vierter Abschnitt.

Von den mechanischen Erscheinungen der luftförmigen Körper.

§. 58. Von den luftförmigen Körpern im Allgemeinen.

Unter allen luftförmigen Körpern ist die atmosphärische Luft bei Weitem die verbreitetste und bekannteste. Da wir es hier nur mit den mechanischen Eigenschaften der luftförmigen Körper zu thun haben, und diese für alle dieselben sind, so werden wir uns bei den folgenden Untersuchungen auf die Betrachtung der atmosphärischen Luft beschränken.

Die luftförmigen Körper haben mit den flüssigen die Schwere und die leichte Verschiebbarkeit ihrer Theile gemeinschaftlich; sie unterscheiden sich aber von denselben dadurch, daß sie sich leicht in einen engeren Raum zusammen-

pressen lassen und bei nachlassendem Drucke sich wieder ausdehnen, während die flüssigen sich nur sehr schwer zusammendrücken lassen. Wird die Luft zusammengepreßt, so wächst ihre Elasticität in gleichem Verhältnisse mit der Dichtigkeit. Dieses Gesetz, welches wir hier vorläufig anführen und erst später näher begründen werden, wird das Mariotte'sche genannt.

§. 59. Der Torricelli'sche Versuch.

Da die Luft schwer ist, so muß sie eben so, wie wir dieß früher von Flüssigkeiten gezeigt haben, auf die in derselben befindlichen Körper einen Druck ausüben. Um diesen Druck zu messen, dient der folgende Versuch: Eine etwa 30 Zoll lange Röhre, Fig. 73, welche an einem Ende offen, am anderen verschlossen ist, wird ganz mit Quecksilber gefüllt; hierauf wird das offene Ende mit dem Finger verschlossen und, nachdem die Röhre umgekehrt worden, in ein Gefäß mit Quecksilber getaucht. Wird nun der Finger weggezogen, so fängt das Quecksilber in der Röhre an zu fallen, stellt sich aber keineswegs, wie dies nach dem Gesetze der communicirenden Röhren geschehen sollte, in gleiche Höhe mit dem Quecksilber im Gefäße, sondern bleibt nach einigen Schwankungen in der Röhre in einer Höhe von ohngefähr 28 (Pariser) Zoll*) über dem Quecksilber im Gefäße stehen.

(Fig. 73.)

Ueber dem Quecksilber in der Röhre befindet sich ein luftleerer Raum, über dem Quecksilber im Gefäße atmosphärische Luft. Der Druck, welchen diese auf die Oberfläche des Quecksilbers im Gefäße ausübt, hält also einer Quecksilbersäule von (ohngefähr) 28 (Pariser) Zoll das Gleichgewicht.

Ist die Röhre nicht fest verschlossen, sondern oben mit einem luftdicht schließenden Korke versehen, so fällt das Quecksilber in der Röhre, so wie man dieselbe oben öffnet und Luft eintreten läßt, und hat dann in der Röhre, übereinstimmend mit dem Gesetze der communicirenden Röhren, dieselbe Höhe wie im Gefäße. — (In einer engen Röhre wird das Quecksilber vermöge der Capillar-Anziehung sogar etwas niedriger stehen, als im offenen Gefäße.)

Der hier beschriebene Versuch ist zuerst (1643) von Torricelli, einem Schüler des Gallilei, angestellt worden; man nennt daher auch den luftleeren Raum über dem Quecksilber in der Röhre das Torricelli'sche Vacuum; die ganze Vorrichtung aber, welche, wie wir gesehen haben, dazu dient, den Druck der Luft zu messen, wird Barometer genannt.

§. 60. Folgerungen aus dem Torricelli'schen Versuche.

Wie unmittelbar aus dem Torricelli'schen Versuche folgt, ist der Druck der Luft gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule von 28 Par. Zoll Höhe. Da Quecksilber 13,6mal schwerer, als Wasser ist, so müßte eine gleich

*) 28 Pariser Zoll sind sehr nahe = 29 Zoll rheinländisch.

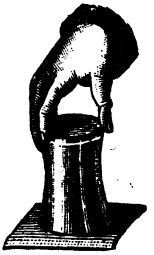
schwere Wassersäule eine Höhe von 13,6 × 28 Par. Zoll oder ohngefähr 32 Par. Fuß (oder 33 preuß. Fuß) haben. Wollte man daher ein Barometer statt mit Queckſilber mit Waſſer füllen, ſo würde man demſelben die unförmliche Länge von mehr als 32 Par. Fuß geben müſſen.

Um zu einer noch anſchaulicheren Vorſtellung von der Größe des Luftdrucks zu gelangen, ſuchen wir den Druck, welchen die Luft auf eine Fläche von beſtimmter Größe, z. B. auf einen Quadratzoll ausübt, nach Pfunden auszudrücken. Zufolge des Obigen iſt dieſer Druck gleich dem Gewichte einer Queckſilberſäule, welche einen Quadratzoll zur Grundfläche und 28 Quadratzoll zur Höhe hat, alſo gleich dem Gewichte von 28 Kubikzoll Queckſilber. Nun wiegt aber ein Par. Kubikzoll Queckſilber ohngefähr 16 Loth (neu Gewicht), alſo 28 Kubikzoll 448 Loth oder ſehr nahe 15 Pfund. Da ein Quadratfuß = 144 Quadratzoll iſt, ſo ergiebt ſich hieraus die Größe des Luftdrucks für einen Quadratfuß = 144 × 15 Pfund = 2160 Pfund oder beinahe 20 Centner. —

Dieſen beträchtlichen Druck haben alſo alle in der Luft befindlichen Körper zu ertragen. Daß auch weiche Körper denſelben auszuhalten vermögen, erklärt ſich daraus, daß die Poren derſelben mit Luft angefüllt ſind. Dagegen können allerdings hohle luftleere Körper, welche nicht ſehr ſtarke Wände haben, durch den Luftdruck zertrümmert werden, wie wir unten bei den Verſuchen mit der Luftpumpe ſehen werden.

Nimmt man die Oberfläche eines erwachſenen Menſchen zu 14 Quadratfuß an, ſo ergiebt ſich hieraus für den geſammten Druck, welchen derſelbe von der Luft erleidet, die ungeheuere Größe von 280 Centnern. Daß wir dieſen Druck nicht empfinden, rührt daher, daß die in unſerm Körper eingeſchloſſene Luft der äußeren, mit welcher ſie gleiche Dichtigkeit, alſo auch gleiche Elaſticität hat, das Gleichgewicht hält. Anders verhält es ſich jedoch, wenn der äußere Luftdruck plötzlich vermehrt oder vermindert wird. So empfanden Perſonen, welche in Luftballons ſchnell zu bedeutenden Höhen emporſtiegen, in Folge des verminderten äußeren Luftdruckes einen Drang des Blutes nach Außen, namentlich in den Augen und der Naſe.

(Fig. 74.)



Wenn man ein Glas mit Waſſer füllt, dann mit einem Stück Papier bedeckt und dieſes mit der flachen Hand feſt an den Rand des Glaſes andrückt, ſo kann man das Glas umkehren und die Hand wegziehen, ohne daß das Waſſer ausläuft. — Dieſer einfache Verſuch zeigt eben ſo, wie der Torricelli'ſche, das Vorhandenſein des Luftdruckes, giebt aber über die Größe desſelben keinen Aufſchluß.

Der menſchliche Oberſchenkel- und Oberarmknochen endigen in einen kugelförmigen Kopf, welcher in die ſpiegelglatte, mit einer ſchlüpferigen Feuchtigkeit benetzte Pfanne des Beckens oder Schulterblattes eingelenkt iſt. Durch den Luftdruck wird dieſer Kopf gegen die Pfanne, in welche derſelbe genau einpaßt, gepreßt und ſo Arm und Fuß durch den Druck der Luft und nicht durch die Anſtrengung der Arm- und Beinmuskeln getragen. — Es erklärt ſich hieraus die auffallende Müdigkeit, welche Reiſende bei dem ſtark verminderten Luftdrucke auf hohen Bergen empfinden, weil hier die Muskeln nicht blos die Glieder in Bewegung zu ſetzen, ſondern auch einen Theil ihres Gewichtes zu tragen haben.

§. 61. Das Barometer.

Durch den Torricelli'ſchen Verſuch ſind wir bereits zu einer ohngefähren Beſtimmung des Druckes der Luft gelangt; ſoll aber ein Barometer zur genauen Abmeſſung desſelben dienen, ſo müſſen den einzelnen Theilen desſelben noch gewiſſe Eigenſchaften zukommen, welche wir jetzt näher erörtern wollen.

1) Das Torricelli'sche Vacuum muß wirklich luftleer sein; die unerläßlichste und am schwersten zu erfüllende Bedingung eines guten Barometers, da die Luft den Wänden der Röhre adhärirt, auch in dem Quecksilber selbst absorbirte Luft enthalten ist. Um diese auszutreiben, muß man das Quecksilber in der Röhre auskochen, eine Operation, welche mit mancherlei Schwierigkeiten verbunden ist. — Wir berücksichtigen ferner:

2) Die Scala, welche bestimmt ist, die Höhe des Quecksilbers im verschlossenen Schenkel über der Oberfläche des Quecksilbers im offenen Schenkel zu messen. Man theilt diese in Deutschland am gewöhnlichsten in Pariser Zolle. Außerdem wird auch häufig die neufranzösische Eintheilung in Millimeter*) angewendet. — Es versteht sich von selbst, daß bei einer richtigen Beobachtung die Scale eine lothrechte Lage haben muß.

3) Das Quecksilber in der Röhre, welches durch sein Gewicht dem äußeren Luftdrucke das Gleichgewicht hält. Da dieses Gewicht nicht allein von der Höhe, sondern auch wesentlich von dem specifischen Gewichte des Quecksilbers abhängt, so können zwei Barometer bei einerlei Luftdruck nur dann in ihren Angaben übereinstimmen, wenn das Quecksilber in beiden das nehmliche specifische Gewicht hat. Um diese Bedingungen zu erfüllen, füllt man die Barometer mit reinem Quecksilber, da das specifische Gewicht des Quecksilbers sich ändert, wenn demselben fremdartige Stoffe, z. B. Blei oder andere Metalle, beigemischt sind.

Das Gewicht des Quecksilbers in der Barometerröhre wird aber nicht bloß durch die Reinheit, sondern auch durch die Temperatur desselben bedingt. Die Quecksilbersäule im Barometer verlängert sich, ohne daß der Luftdruck sich geändert hat, wenn dieselbe erwärmt wird. Bei Barometern, welche zu genauen Beobachtungen dienen sollen, ist daher jedesmal auch ein Thermometer angebracht, welches die Temperatur des Quecksilbers angiebt. Man pflegt alle Beobachtungen auf Null Grad zu reduciren, d. h. man berechnet aus der beobachteten Länge der Quecksilbersäule im Barometer und aus der Temperatur derselben diejenige Länge, welche diese Quecksilbersäule annehmen würde, wenn ihre Temperatur gleich Null Grad wäre. (Es vergrößert sich nehmlich die Quecksilbersäule für jeden Centesimal-Grad um $^1/_{5550}$ ihrer Länge.) Bei sehr genauer Beobachtung berücksichtigt man auch die Ausdehnung der Scale durch die Wärme.

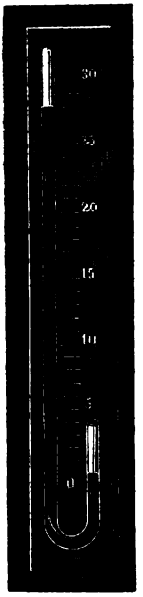
4) Die Röhre darf nicht zu eng sein, da durch die Reibung an den Wänden der Röhre das Quecksilber an Beweglichkeit verliert. (Die Weite der Röhre soll nicht unter $1^1/_2$ bis 2 Linien betragen.) Wegen des angeführten Grundes ist es zweckmäßig, vor jeder Beobachtung das Barometer etwas zu erschüttern.

Da der Luftdruck sich in horizontaler Linie gleichmäßig fortpflanzt, so muß derselbe in unseren Zimmern, überhaupt in allen nicht luftdicht verschlossenen Räumen derselbe, wie im Freien sein. Es ist daher ganz gleichgültig, ob man das Barometer im Zimmer oder im Freien aufhängt. Dagegen ist die absolute Höhe des Beobachtungsortes, wie wir bald weiter unten sehen werden, von wesentlichem Einflusse auf den Barometerstand.

---

*) 1 Millimeter = 0,443295 Pariser Linien.

(Fig. 75.)



Von besonderen Einrichtungen des Barometers führen wir nur das Gefäß- und das Heberbarometer an. Bei dem ersteren, welches vorzüglich da gebraucht wird, wo es sich mehr um Bequemlichkeit, als um große Genauigkeit der Beobachtungen handelt, besteht der kürzere Schenkel aus einem oben offenen Gefäße (Fig. 75). Ist dieses nun beträchtlich weiter, z. B. zehnmal so weit, als die Röhre, so wird das Queckſilber im Gefäße, wenn es in der Röhre um einen Zoll ſteigt oder fällt, nur um $^1/_{100}$ Zoll fallen oder ſteigen. Man kann daher, wenn es ſich um keine große Genauigkeit der Beobachtung handelt, den Stand des Queckſilbers im Gefäße als unveränderlich anſehen und die Scale mit der Röhre feſt verbinden, ſo daß der Nullpunkt derſelben mit der Oberfläche des Queckſilbers im Gefäße bei dem mittleren Barometerſtande (von etwa 28 Zoll) gleiche Höhe hat. — Will man jedoch mit einem Gefäßbarometer genaue Beobachtungen anſtellen, ſo hat man auch das Steigen und Fallen des Queckſilbers im Gefäße zu berückſichtigen.

Das vollkommenſte Barometer iſt ohnſtreitig das Heberbarometer, Fig. 75, welches aus einer heberförmig gekrümmten Röhre beſteht, deren längerer Schenkel verſchloſſen und deren kürzerer Schenkel offen iſt. Da bei jedem Steigen oder Fallen des Queckſilbers im verſchloſſenen Schenkel zugleich das Queckſilber im offenen Schenkel fällt oder ſteigt, ſo muß hier die Scale ſich längs der Röhre (oder die Röhre längs der Scale) verſchieben laſſen. Man ſtellt nun bei jeder Beobachtung zunächſt die Scale ſo, daß der Nullpunkt derſelben mit dem Queckſilber im offenen Schenkel gleiche Höhe hat, und ſieht dann zu, bis zu welchem Punkte der Scale das Queckſilber im verſchloſſenen Schenkel reicht.

Das Heberbarometer, deſſen beide Schenkel eine nahe gleiche Weite haben, gewährt auch noch den Vortheil, daß man die Capillardepreſſion außer Acht laſſen kann. Das Gefäßbarometer giebt dagegen den Barometerſtand allemal etwas zu niedrig an, da in engen Röhren das Queckſilber bekanntlich niedriger ſteht, als in weiten. Es bedarf daher hier jede Beobachtung einer Correction wegen der durch die Capillarität bewirkten Depreſſion.

§. 62. Schwankungen des Barometers.

Der Luftdruck iſt an dem nehmlichen Orte der Erde nicht beſtändig derſelbe, ſondern fortwährenden Veränderungen und daher das Barometer beſtändigen Schwankungen unterworfen. Nördliche und öſtliche Winde ſind in der Regel von einem höheren, ſüdliche und weſtliche von einem niedrigeren Barometerſtande begleitet.

Die Schwankungen des Barometers ſind im Winter beträchtlicher, als im Sommer; ſie betragen in unſeren Breiten überhaupt ohngefähr 2 Par. Zoll; (ſie erſtrecken ſich am Meeresſpiegel von etwa 27 Zoll Barometerſtand bis 29 Zoll); in höheren Breiten ſind dieſelben noch beträchtlicher, viel geringer aber in der Nähe des Aequators, wo ſie mit Ausnahme außerordentlicher Fälle, z. B. vor dem Ausbruche heftiger Stürme, nur wenige Linien umfaſſen.

Sie zeigen hier eine merkwürdige Regelmäßigkeit; das Barometer ſteigt nehmlich regelmäßig alle Tage ohngefähr von 4 Uhr bis 10 Uhr des Morgens, fällt dann bis 4 Uhr Nachmittags, ſteigt dann wieder bis 10 Uhr Abends und fällt dann aufs Neue bis 4 Uhr Morgens. Es erreicht alſo zweimal täglich, um 10 Uhr Morgens und Abends, ein Maximum, und zweimal, um 4 Uhr Morgens und Abends, ein Minimum. Der Unterſchied zwiſchen dem höchſten und niedrigſten Stande beträgt am Aequator noch keine volle Linie. In größerer Entfernung vom Aequator zeigt der Stand des Barometers viel beträchtlichere und ſehr unregelmäßige Schwankungen. Wenn man aber ganze Monate hindurch alle Tage das Barometer ohngefähr zu den angegebenen

Stunden beobachtet und aus den zu der nehmlichen Tagesstunde angestellten Beobachtungen das Mittel nimmt, so wird man auch selbst in unseren Breiten noch zwei Maxima und zwei Minima unterscheiden können, deren Differenz jedoch bedeutend geringer ist, als am Aequator. Diese regelmäßigen Schwankungen sind eine Folge der Erwärmung der Erde und der Atmosphäre durch die Sonnenstrahlen und der hierdurch bewirkten Verdunstung. Dove in Berlin hat nehmlich gezeigt, daß, wenn man von dem Gesammtdrucke der Atmosphäre, wie ihn das Barometer angiebt, die Elasticität des Wasserdampfes abzieht, der noch übrig bleibende Druck der trockenen Luft zur Zeit der kleinsten Tageswärme (Sonnenaufgang) am größten, zur Zeit der größten Tageswärme aber (eine bis zwei Stunden nach dem Mittage), wo die am stärksten erwärmte und ausgedehnte Luft oben abfließt, am kleinsten ist, während umgekehrt die Elasticität des in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfes zur Zeit der kleinsten Tageswärme am kleinsten und zur Zeit der größten Tageswärme, wenigstens für Orte, welche vom Meere oder großen Wasserbehältern nicht allzu entfernt sind, am größten ist. Da hiernach die täglichen Veränderungen des Druckes der trockenen Luft und der Elasticität des Wasserdampfes in entgegengesetztem Sinne erfolgen, die Größe der ersteren aber im Allgemeinen die der letztern übertrifft, so erklärt sich hieraus ohne Schwierigkeit, daß das Barometer, welches den Gesammtdruck der trockenen Luft und des Wasserdampfes anzeigt, innerhalb 24 Stunden abwechselnd zweimal steigt und zweimal fällt, also zweimal ein Maximum und zweimal ein Minimum erreicht. Eben so ist klar, daß mit der Größe der täglichen Temperaturveränderung, als der bedingenden Ursache, auch die Größe der täglichen Veränderung des gesammten Luftdruckes wachsen, also dieselbe vom Winter nach dem Sommer, von den Polen nach dem Aequator hin zunehmen muß.

Außer den periodischen täglichen zeigt das Barometer auch jährlich regelmäßig wiederkehrende Schwankungen, welche ihre Erklärung in den nehmlichen durch den Wechsel der Wärme bedingten Ursachen, welche im Vorhergehenden für die täglichen Schwankungen entwickelt sind, finden und nach Dove im mittleren und westlichen Europa den folgenden Gang nehmen: Der atmosphärische Druck nimmt vom Januar nach dem Frühjahr hin ab und erreicht im April in der Regel ein Minimum; er wächst von da an langsam und ziemlich regelmäßig bis zum September und fällt dann wieder rasch bis in den November, wo er in der Regel zum zweiten Male ein Minimum erreicht.

§. 68. Barometrische Höhenmessung. (Hypsometrie.)

Eine der nützlichsten Anwendungen, welche man von dem Barometer macht, ist die Bestimmung des Höhenunterschiedes zweier Orte durch correspondirende Barometerbeobachtungen. Da nehmlich der Luftdruck offenbar mit der Höhe abnimmt, so muß auch das Barometer fallen, wenn man in die Höhe steigt, und zwar um die Länge einer Quecksilbersäule, welche eben so viel wiegt, als die Luftsäule, um welche man gestiegen ist. Da nun die Luft (bei Null Grad Wärme und) bei einem Barometerstande von 28 (Par.) Zoll ohngefähr 10,500mal leichter ist, als Quecksilber, so wird man um 10,500 Linien oder ohngefähr 73 Fuß steigen müssen, damit das Quecksilber im Barometer um eine Linie fällt, und umgekehrt wird man, wenn an einem Orte A das Barometer auf 28 Zoll und an einem andern Orte B zu derselben Zeit nur auf 27″ 11‴ steht, hieraus schließen, daß B um 73 Fuß höher liegt, als A. Da aber zu Folge des Mariotte'schen Gesetzes die Dichtigkeit der Luft mit der Höhe abnimmt, so wird das Barometer nicht in demselben Verhältnisse fallen, in welchem man steigt. So wird man z. B., wenn man in eine Höhe gelangt ist, in welcher das Barometer auf 14 Zoll steht, die Dichtigkeit der Luft also nur noch halb so groß ist, offenbar um 2 . 73 = 146 Fuß steigen müssen, damit das Barometer um eine Linie fällt.

Um mit Leichtigkeit aus den Barometerständen, welche man zu gleicher Zeit an zwei Standpunkten beobachtet hat, den Höhenunterschied dieser beiden Standpunkte ableiten zu können, hat man besondere (hypsometrische)

Tabellen berechnet, welche sich, so wie die Anweisung zum Gebrauche derselben, bei jedem neueren logarithmischen Handbuche finden, weshalb wir hierbei nicht länger verweilen. Wir bemerken nur noch, daß man bei dem barometrischen Höhenmessen auch die Temperatur der Luft zu berücksichtigen hat, da die Luft durch die Wärme ausgedehnt, also leichter wird, und daher das Gewicht der zwischen beiden Standpunkten befindlichen Luftschicht wesentlich von der Temperatur dieser Luftschicht abhängt.

Da man diese Temperatur nur an den beiden Grenzen, dem oberen und unteren Standpunkte zu beobachten Gelegenheit hat, Beobachtungen der Luft-Temperatur an zwischenliegenden Punkten fehlen, so muß man sich darauf beschränken, das arithmetische Mittel der an beiden Standpunkten beobachteten Lufttemperaturen als die mittlere Temperatur der ganzen Luftschicht anzunehmen, eine Annahme, welche nur dann für streng richtig gelten kann, wenn die Lufttemperatur wirklich mit der Höhe gleichmäßig abnimmt, was jedoch keineswegs immer der Fall ist, indem gar nicht selten wärmere und kältere Luftschichten in verschiedenen Höhen mit einander abwechseln.

Man sieht schon hierin einen Grund, warum Höhenmessungen mit dem Barometer keine volle Genauigkeit gewähren können. Ein anderer Grund besteht in dem schwer zu ermittelnden und in Rechnung zu bringenden Feuchtigkeitsgehalte der Luft, indem feuchte Luft leichter ist, als trockene.

Weiter ist klar, daß das bisher Gesagte eigentlich streng genommen nur von zwei in lothrechter Linie über einander liegenden Orten oder unter der Voraussetzung gilt, daß überall in gleicher Höhe auch ein gleicher Barometerstand stattfindet. Da jedoch Luftströmungen, Winde, sehr wohl veranlassen können, daß das Barometer an zwei gleich hoch liegenden Orten, welche in horizontaler Richtung von einander entfernt sind, einen verschiedenen Stand hat, so begreift man leicht, daß man, um zuverlässige Resultate zu erhalten, den Punkt, dessen Höhe man sucht, mit einem nicht allzu entfernten Standpunkte von bekannter Höhe vergleichen muß. Sehr windige Tage und solche, an denen das Barometer unregelmäßige Schwankungen macht, sind aber von den Beobachtungen, welche zu Höhenmessungen dienen sollen, ganz auszuschließen. Endlich ist klar, daß die Resultate um so mehr an Zuverlässigkeit gewinnen werden, je größer die Zahl der an beiden Orten gemachten gleichzeitigen Beobachtungen ist, z. B. wenn man diese durch mehrere Monate oder Jahre täglich zu denselben Stunden anstellt. Auf diese Art lassen sich auch zwei entfernte Orte in Hinsicht ihrer Höhe mit einander vergleichen, wenn man hierbei die aus mehrjährigen Beobachtungen abgeleiteten mittleren Barometerstände zu Grund legt. Hierdurch wird es möglich, auch die absolute Höhe tiefer im Binnenlande gelegener Orte über dem Meeresspiegel durch Beobachtungen des Barometers zu finden.

Wird der Höhenunterschied zweier Orte unter übrigens günstigen Umständen aus einem einzigen Paar correspondirender Beobachtungen hergeleitet, so wird auf einen Höhenunterschied von 1000 Fuß die Abweichung von der Wahrheit etwa 5 bis 10 Fuß betragen können.

Sind jedoch zwei Orte um mehrere Längen- und Breitengrade von einander entfernt, so können die in der Atmosphäre beständig stattfindenden (regelmäßigen oder unregelmäßigen) Strömungen, wie Erdmann in Berlin gezeigt hat, sehr beträchtliche Differenzen veranlassen.

Auch der mittlere Barometerstand am Meeresspiegel ist nicht für alle Gegenden der Erde genau derselbe, etwa zwischen 30—40° nördl. Br. am größten und von da nach dem Pole und nach dem Aequator hin etwas abnehmend.

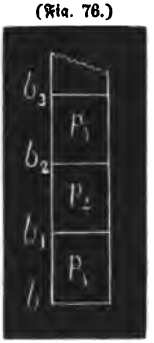
In der folgenden Tabelle giebt die zweite Spalte die ohngefähre Höhe in Pariser Fußen an, bis zu welcher man steigen muß, damit das Barometer den in Pariser Zollen angezeigten Stand der ersten Spalte zeigt, wenn die Temperatur der Luft gleich Null Grad angenommen wird. Die dritte Spalte aber giebt an, um wie viel Fuß man in der jedesmaligen Höhe steigen muß, damit das Barometer aufs Neue einen Zoll fällt.

Barometer in Par. Zollen.	Höhe in Par. Fußen.	Differenz.
28″	0′	890′
27	890	930
26	1820	970
25	2790	1000
24	3790	1050
23	4840	1090
22	5930	1140
21	7070	1200
20	8270	1260
19	9530	1330
18	10860	1410
17	12270	1490
16	13760	1590
15	15350	1700
14	17050	1820
13	18870	1980
12	20850	2140
11	22990	2340
10	25330	

Hiernach beträgt also der mittlere Stand des Barometers auf dem Brocken (3500′) ohngefähr 24″, auf der Schneekoppe (4900′) 23″, Mexiko (7000′) 21″, Hospiz auf dem St. Bernhard (7700′) 20″, Chimboraſſo (20800′) 12″, Dhawalagiri (25000′) 10″ u. dgl. m.

Bezeichnen wir mit b den Barometerſtand am Fußpunkte einer zu meſſenden Höhe, Fig. 76, mit b_1, b_2, b_3 ... aber die Barometerſtände in 1, 2, 3 ... Fuß Höhe, ſetzen wir ferner die Differenz, um welche das Barometer fällt, wenn wir von dem unterſten Punkte aus um einen Fuß geſtiegen ſind, $b - b_1 = p_1$, dann iſt p_1 offenbar die Länge einer Queckſilberſäule, welche mit der unterſten Luftſchicht von ein Fuß Höhe gleiches Gewicht hat. Uebereinſtimmend hiermit ſetzen wir noch $b_1 - b_2 = p_2$, $b_2 - b_3 = p_3$ u. ſ. w. Da die Dichtigkeiten der auf einander folgenden Luftſchichten, alſo auch ihre Gewichte ſich wie die drückenden Kräfte verhalten, ſo ergiebt ſich hieraus die Proportion

(Fig. 76.)



$$p_1 : p_2 = b_1 : b_2,$$

folglich auch $b_1 + p_1 : b_2 + p_2 = b_1 : b_2$,
oder da $b_1 + p_1 = b$ und $b_2 + p_2 = b_1$ iſt:

$$b : b_1 = b_1 : b_2.$$

Ganz ebenſo finden wir weiter:

$$b_1 : b_2 = b_2 : b_3,$$
$$b_2 : b_3 = b_3 : b_4 \text{ u. ſ. f.}$$

Es bilden daher, wenn wir um gleiche Höhen in der Luft emporſteigen, die zugehörigen Barometerſtände die Glieder einer abnehmenden geometriſchen Reihe, während dieſe Höhen ſelbſt, da wir immer um eine gleiche Größe geſtiegen ſind, eine arithmetiſche Reihe darſtellen.

Setzen wir den beſtändigen Quotienten der eben erwähnten geometriſchen Reihe $= q$, ſo erhalten wir die Gleichungen

$$b = q \cdot b_1,$$
$$b_1 = q \cdot b_2,$$
$$b_2 = q \cdot b_3 \text{ u. ſ. w.},$$

folglich $$b = q \cdot b_1 = q^2 \cdot b_2 = q^3 \cdot b_3 \text{ u. ſ. w.}$$

Auf dieſem Wege fortfahrend, finden wir, wenn wir den in der Höhe von h Fuß ſtattfindenden Barometerſtand mit b′ bezeichnen,

$$b = q^h \cdot b',$$

also $$\log b = h \log q + \log b'$$

und folglich $$h = \frac{\log b - \log b'}{\log q}.$$

Da die Luft bei Null Grad Temperatur und einem Barometerstand von 28 Par. Zoll 10500mal leichter, als Queckſilber iſt, ſo muß das Barometer um den 10500ten Theil eines Fußes oder 0,001143 Zoll fallen, wenn wir in dieſer Luft um einen Par. Fuß ſteigen, alſo das Barometer von 28 Zoll auf 27,998857 Zoll herabgehen. Demnach iſt

$$q = \frac{b}{b_1} = \frac{28}{27{,}998857}$$

und $$\log q = \log 28 - \log 27{,}998857 = 0{,}0000177,$$

folglich $$h = \frac{\log b - \log b'}{0{,}0000177} = 56500 \,.\, (\log b - \log b').$$

Der ſo eben berechnete Coefficient 56500 iſt unter der Vorausſetzung erhalten worden, daß die Lufttemperatur gleich Null Grad iſt. Iſt die Temperatur an dem untern Standpunkte $= t$, an dem obern $= t'$, ſo hat man denſelben, da die Luft für jeden Centeſimalgrad ſich um 0,00366 ihres Volumens ausdehnt, wenn man als mittlere Temperatur der Luftſchicht zwiſchen beiden Standpunkten das arithmetiſche Mittel der beiden beobachteten Lufttemperaturen $\frac{t + t'}{2}$ annimmt, noch mit der Zahl $1 + 0{,}00183 \,.\, (t + t')$ zu multipliciren, wodurch die obige Formel übergeht in

$$h = 56500 \,.\, (1 + 0{,}00183) \,.\, (t + t') \,.\, (\log b - \log b').$$

Außerdem hat man bei ſehr genauen Beſtimmungen eine Correction wegen des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft, wegen der Abnahme der Schwere mit der Höhe und wegen der verſchiedenen Größe der Schwere in verſchiedenen Gegenden der Erde anzubringen. Wir verweilen jedoch hierbei nicht länger, ſondern verweiſen wegen dieſer Correctionen auf die hypſometriſchen Tafeln.

§. 64. Anderweitiger Gebrauch des Barometers.

Der Gebrauch, welchen der Phyſiker von dem Barometer macht, beſchränkt ſich jedoch nicht auf das Höhenmeſſen; auch bei vielen *chemiſchen*, *akuſtiſchen*, *optiſchen* und *thermiſchen* Unterſuchungen iſt ihm die Kenntniß des Barometerſtandes unentbehrlich. So werden wir z. B. weiter unten zeigen, daß ohne die Abmeſſung des Luftdruckes durch das Barometer die Anfertigung übereinſtimmender Thermometer ganz unmöglich ſein würde.

Auf die Verhältniſſe des gewöhnlichen Lebens äußern dagegen die Veränderungen des Luftdrucks an dem nehmlichen Orte keinen merklichen Einfluß. Während eine Zu- oder Abnahme der Lufttemperatur von wenigen Graden auf unſer Gefühl ſchon bedeutend einwirkt, empfinden wir nichts, ſelbſt von den ſtärkſten Veränderungen im Luftdrucke.

Schon bald nach der Erfindung des Barometers hat man dasſelbe zur Vorherbeſtimmung von *Witterungsveränderungen* zu benutzen verſucht. Da die ſüdlichen und weſtlichen Winde uns in der Regel feuchte und warme, alſo leichtere Luft zuführen, ſo ſteht das Barometer bei dieſen gewöhnlich niedriger, als bei den nördlichen und öſtlichen Winden, welche uns meiſt trockene und kalte, alſo ſchwerere Luft bringen. Da nun die Regenwolken uns in den meiſten Fällen durch ſüdweſtliche Winde zugeführt werden, während die nordöſtlichen Winde uns häufiger heiteres, als regneriſches Wetter bringen, ſo erklärt ſich ſchon hieraus, warum in den meiſten Fällen die Schwankungen des Barometers mit den Veränderungen der Witterung zuſammentreffen. Hierzu kommt noch, daß der Wechſel der Luftſtrömung ſehr gewöhnlich früher in den oberen, als in den unteren Regionen eintritt, und indem derſelbe den Luftdruck vermehrt oder vermindert, das Barometer

schon steigt oder fällt, noch ehe eine Drehung des in den untern Regionen wehenden Windes und ein Wechsel der Witterung eingetreten ist, und so der letztere durch den veränderten Stand des Barometers vorher verkündigt wird. — Sehr starkes und plötzliches Fallen des Barometers ist als ein Vorbote heftiger Stürme anzusehen.

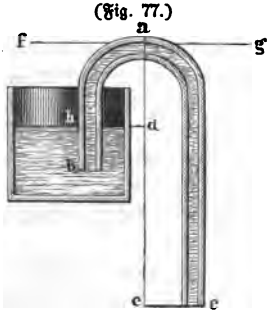
Wir haben oben angegeben, daß feuchte Luft leichter ist, als trockne. Feucht nennen wir die Luft dann, wenn sie neben den sogenannten Gasen Sauerstoff und Stickstoff reichlich Wasserdämpfe enthält. In §. 238 werden wir sehen, daß bei gleichem Druck und gleicher Temperatur das specifische Gewicht des Wasserdampfes nur $^5/_8$ von dem der trocknen aus Sauerstoff und Stickstoff gemischten Luft beträgt. So wie nun bei gleichem Volumen ein Gemenge aus Wasser und Spiritus um so weniger wiegt, je mehr Spiritus darin enthalten ist, so muß dasselbe aus gleichem Grunde von der atmosphärischen Luft gelten, je größer ihr Gehalt an Wasserdämpfen ist.

Wenn in den meisten Fällen das Steigen oder Fallen des Barometers auf einen verminderten oder vermehrten Feuchtigkeitsgehalt der Luft schließen läßt und daher jenes das Bevorstehen trockner, dieses dagegen nasser Witterung wahrscheinlich macht, so werden dagegen rasch vorübergehende Gewitterschauer, welche sich nur über schmale Landstriche ergießen, während zu beiden Seiten derselben trockne Witterung herrscht, und auch da, wo sie niedergefallen sind, bald wieder die Sonne am klaren Himmel erscheint, durch ein locales Fallen des Barometers nicht angezeigt. Denn es ist nicht wohl möglich, daß an nahe benachbarten Orten das Barometer auch nur kurze Zeit andauernd einen erheblich verschiedenen Stand zeigt, da eine beträchtliche Ungleichheit im Luftdruck benachbarter Gegenden sich sofort wieder durch ein heftiges Strömen der Luft aus der Gegend des stärkeren in die des schwächeren Druckes ausgleichen müßte.

§. 65. Der gekrümmte Heber.

Auf den Gesetzen des Luftdruckes beruhen auch die Erscheinungen des gekrümmten Hebers, welcher aus einer zweischenkeligen gebogenen Röhre bac, Fig. 77, besteht. Wird der eine Schenkel in ein Gefäß mit Wasser getaucht und hierauf der Heber auf irgend eine Art, z. B. durch Saugen mit dem Munde an der Oeffnung c des äußeren Schenkels, gefüllt, so fließt das Wasser durch diesen so lange aus, als überhaupt noch der innere Schenkel ins Wasser reicht, wenn nehmlich der äußere Schenkel länger ist, als der innere, entgegengesetzten Falles nur so lange, als die Oeffnung des äußeren Schenkels sich unter dem Spiegel des Wassers im Gefäße befindet. Der Heber bietet so die auffallende Erscheinung einer aufwärts gehenden Wasserströmung dar, welche sich zu einer größeren Höhe erhebt, als der Spiegel des Wassers, aus welchem sie entspringt.

(Fig. 77.)



Zur Erklärung dieser Erscheinung dient Folgendes: Das in dem Gefäße befindliche Wasser erleidet an seiner Oberfläche den Druck der Atmosphäre, welcher, wie wir im Vorhergehenden gesehen haben, ohngefähr dem Drucke einer Wassersäule von 32 par. Fuß Höhe gleich ist. Da dieser Druck sich auch durch das im Heber befindliche Wasser fortpflanzt, so erleidet ein Wassertheilchen, welches sich in demselben bei h in gleicher Höhe mit dem Wasserspiegel im Gefäße befindet, genau den nehmlichen Druck; dagegen erleidet ein an der höchsten Stelle des Hebers bei a befindliches Wassertheilchen offenbar nur noch einen Druck, welcher gleich ist dem Gewichte einer Wassersäule von der Höhe 32′ — ad.

An der äußern Oeffnung bei c übt die Luft ebenfalls einen Druck aus, welcher gleich dem Gewichte einer Wassersäule von 32′ Höhe ist, und indem dieser Druck durch das im Schenkel ac eingeschlossene Wasser sich fortpflanzt, die Schwere desselben aber diesem Drucke entgegenwirkt, so wird dieser Druck bei a nur noch durch das Gewicht einer Wassersäule von der Höhe 32′ — ae gemessen.

Hiernach erleidet das Wasser im Heber bei a einen zweifachen und zwar entgegengesetzten Druck, nehmlich in der Richtung ag einen Druck, welcher 32′ — ad, und in der Richtung af einen Druck, welcher 32′ — ae zum Maaße hat. Der erste Druck übertrifft aber den letzten um das Gewicht einer Wassersäule von der Höhe de, d. h. einer Wassersäule, welche die Tiefe der Oeffnung des äußeren Schenkels unter dem Spiegel des Wassers im Gefäße zur Höhe hat. — Da das, was wir für die höchste Stelle des Hebers gezeigt haben, eben so für jede andere Stelle desselben dargethan werden kann, so muß sich das Wasser folglich im Heber in der Richtung bac fortbewegen.

Man sieht aus dieser Darstellung auch noch, daß das Wasser aus dem Heber um so rascher ausfließt, je tiefer die Oeffnung des äußeren Schenkels unter dem Wasserspiegel liegt, ferner daß, wenn der äußere Schenkel kürzer ist, als der eingetauchte, das Wasser aufhört auszufließen, sowie der Spiegel des Wassers im Gefäße bis zu einer gleichen Höhe mit der Oeffnung des äußeren Schenkels gefallen ist, und endlich, daß *das Wasser im Heber zu keiner größeren Höhe, als 32 Par.* (oder 33 preuß.) *Fuß über den Wasserspiegel im Gefäße emporsteigen kann.* — Bei einem mit Queckfilber gefüllten Heber würde diese Höhe nur 28 Par. (oder 29 preuß.) Zoll betragen.

Man benutzt den Heber, um Flüssigkeiten aus einem Gefäße in ein anderes überzufüllen.

Der Heber war schon den Alten bekannt; da ihnen aber die Kenntniß des Luftdruckes abging, so suchten sie die Erscheinungen desselben aus einer anziehenden Kraft des leeren Raumes (horror vacui) zu erklären.

(Fig. 78.)

Unter den vielen Spielereien, für welche man den Heber benutzt hat, führen wir nur den *Bezirbecher* (Fig. 78) an, welcher aus einem Gefäße mit einem irgend wie z. B. im Handgriffe versteckten Heber besteht. Befindet sich in dem Gefäße Wasser, so fließt kein Tropfen aus, so lange die Oberfläche des Wassers niedriger ist, als die höchste Stelle des versteckten Hebers. Gießt man aber nun noch Wasser zu, bis diese Stelle erreicht ist, und sich folglich der Heber gefüllt hat, so fängt das Wasser an, durch den Heber auszufließen, und das Gefäß wird beinahe gänzlich entleert.

§. 66. Das Mariotte'sche Gesetz.

Wenn man in eine heberförmig gebogene Röhre mit einem kürzeren, oben verschlossenen und einem längeren, oben offenen Schenkel etwas Queckfilber gießt, so erleidet die im kürzeren Schenkel abgesperrte Luft zunächst den Druck einer Queckfilbersäule von der Höhe a′a″, Fig. 79, um welche das Queckfilber im offenen Schenkel höher steht, als im verschlossenen, und außerdem noch den Druck der Atmosphäre. Nehmen wir an, daß das Barometer auf 28″ steht und daß a′a″ = 2″ ist, so ist der gesammte Druck, welchem die abgesperrte Luftsäule cd vermöge ihrer Elasticität das Gleichgewicht hält,

= 30″. Wird hierauf im offenen Schenkel Queckſilber zugegoſſen, ſo ſteigt auch das Queckſilber im verſchloſſenen Schenkel, und die abgeſperrte Luftmaſſe wird in einen engeren Raum zuſammengepreßt. Wird hiermit ſo lange fortgefahren, bis der Raum cd′ die Hälfte von cd iſt, ſo findet man, daß die Höhe a‴b″, um welche jetzt das Queckſilber im offenen Schenkel höher ſteht, als im verſchloſſenen, 32″ beträgt. Die in den halben Raum zuſammengepreßte Luft hält alſo einem Drucke von 32″ + 28″ = 60, d. h. einem doppelt ſo großen Drucke, als vorhin, das Gleichgewicht. Indem die Luft in den halben Raum zuſammengepreßt wurde und folglich ſich ihre Dichtigkeit verdoppelte, iſt auch ihre Elaſticität auf das Doppelte geſtiegen.

(Fig. 79.)

In ähnlicher Art findet man, daß überhaupt der Raum, welchen die abgeſperrte Luft einnimmt, in demſelben Verhältniſſe abnimmt, in welchem die drückende Kraft zunimmt, und daß alſo die Dichtigkeit der Luft in gleichem Verhältniſſe mit ihrer Elaſticität wächſt.

Dieſes Geſetz, welches man für atmoſphäriſche Luft bis zur 27fachen Verdichtung nachgewieſen hat, gilt auch für andere Gasarten, jedoch für diejenigen, welche bei ſtarkem Drucke flüſſig werden, innerhalb engerer Grenzen.

Um das nehmliche Geſetz auch für verdünnte Luft nachzuweiſen, taucht man eine beiderſeits offene Röhre in ein hohes Gefäß mit Queckſilber; dann wird das Queckſilber in der Röhre, (wenn dieſelbe nicht ſehr eng iſt), eben ſo hoch, als im Gefäße ſtehen, und dieſes wird auch dann noch ſtattfinden, wenn die Röhre am oberen Ende luftdicht verſchloſſen wird. Es hält daher die in der Röhre eingeſchloſſene Luft vermöge ihrer Elaſticität dem Drucke der Atmoſphäre, d. h. einer Queckſilberſäule von der Höhe des Barometerſtandes, für welchen wir 28″ annehmen wollen, das Gleichgewicht. Wird nun die Röhre in die Höhe gezogen, ſo dehnt ſich die in derſelben enthaltene Luft aus, und das Queckſilber in der Röhre ſteht jetzt höher, als im Gefäße. Nehmen wir an, daß daſſelbe in der Röhre bis a, Fig. 80, im Gefäße bis b reicht, ſo hat die Luft zwiſchen a und c nur noch dem um die Queckſilberſäule ab verminderten Luftdrucke das Gleichgewicht zu halten. Iſt z. B. ab = 21″, ſo iſt der Druck, welchem die Elaſticität der abgeſperrten Luftmaſſe das Gleichgewicht hält, gleich dem Gewichte einer Queckſilberſäule von der Höhe 28″ — 21″ = 7″, und der Raum ac, welchen dieſe Luftmaſſe jetzt einnimmt, iſt viermal ſo groß, als er urſprünglich war. Ueberhaupt findet man, daß die Elaſticität der abgeſperrten Luftmaſſe in dem nehmlichen Verhältniſſe abnimmt, in welchem ſich dieſelbe ausdehnt, alſo dünner wird.

(Fig. 80.)

Es gilt folglich das Gesetz, daß sich die Elasticität der Luft wie ihre Dichtigkeit verhält, eben sowohl für verdichtete, als für verdünnte Luft.

Dieses Gesetz ist zuerst von Boyle in England 1660 aufgefunden und bald nachher von Mariotte in Frankreich bestätigt worden.

Da die Elasticität der Luft auch wesentlich von ihrer Temperatur abhängt, so können die angeführten Versuche nur dann richtige Resultate ergeben, wenn die Temperatur der Luft in allen Versuchen die nehmliche ist. Auch muß bei den Versuchen mit verdichteter Luft dieselbe frei von Feuchtigkeit sein, weil beigemischte Dämpfe, wenn der Druck eine gewisse Grenze überschreitet, sich in flüssiges Wasser verdichten.

Nach Regnault gilt das Mariotte'sche Gesetz für atmosphärische Luft, Stickstoff, Wasserstoff und Kohlensäure auch bei mäßigem Drucke, zwischen 1 bis 20 Atmosphären, nicht mit vollkommener Genauigkeit. Die Abweichungen sind jedoch nur bei der Kohlensäure beträchtlich, bei den andern drei Gasen gering.

Nach Natterer vermindern die folgenden Gase bei dem ungeheuern Drucke von 2700 Atmosphären ihr Volumen nicht auf den 2700ten Theil, sondern Wasserstoffgas nur auf den 1008ten, Stickstoffgas auf den 705ten, atmosphärische Luft auf den 726ten und Kohlenoxydgas auf den 727ten Theil ihres ursprünglichen Volumens. Keines dieser Gase ging jedoch bei dem stärksten angewendeten Drucke und einer künstlichen Kälte von 80° in den flüssigen Zustand über.

§. 67. Anwendungen des Mariotte'schen Gesetzes.

Aus dem Vorhergehenden folgt, daß, wenn zwei mit Luft gefüllte Räume mit einander Gemeinschaft haben, das Gleichgewicht nur dann bestehen kann, wenn die Luft in beiden dieselbe Dichtigkeit hat. Eine Ausnahme hiervon würde in dem Falle stattfinden, wenn der eine Raum bedeutend höher, als der andere gelegen, oder die Luft in dem einen wärmer, als in dem andern wäre. Abgesehen von dergleichen Ausnahmefällen muß bei verschiedener Dichtigkeit der Luft in beiden Räumen eine Strömung aus dem Raume, in welchem die Luft größere Dichtigkeit und also auch größere Elasticität hat, in den mit der weniger dichten Luft gefüllten Raum eintreten. — Eben so ist klar, daß das hydrostatische Gesetz über die gleiche Höhe einer Flüssigkeit in communicirenden Röhren nur so lange richtig bleibt, als die über den Oberflächen des Flüssigen in beiden Schenkeln befindliche Luft dieselbe Dichtigkeit hat. Ist dagegen diese Dichtigkeit verschieden, so wird die Flüssigkeit in dem Schenkel, über welchem sich die weniger dichte Luft befindet, höher stehen, als in dem Schenkel, über welchem die Luft eine größere Dichtigkeit und also auch größere Elasticität besitzt, und zwar um so mehr, je größer der Unterschied dieser Dichtigkeiten ist, wie wir dies deutlich an den im vorhergehenden Paragraphen näher beschriebenen Versuchen gesehen haben.

Aus dem Angeführten ergiebt sich die Erklärung sehr vieler Erscheinungen; wir führen zunächst an:

Das Athmen. Wenn durch Ausdehnung des Brustkastens die Lungensäcke sich erweitern und also die Luft in denselben verdünnt wird, so vermag sie nicht mehr der äußeren das Gleichgewicht zu halten, und diese muß folglich durch die Luftröhre in die Lungen einströmen. Das Gegentheil findet statt, wenn durch Verengung des Brustkastens die Luft in den Lungen verdichtet wird. — Ferner führen wir an:

Das Saugen und Trinken. Wenn wir das eine Ende eines Röhrchens in den Mund nehmen, während das andere Ende in eine Flüssigkeit eintaucht, und nun durch Erweiterung des Brustkastens die Luft in den

Lungen, im Munde und in dem Röhrchen verdünnen, so steigt die Flüssigkeit wegen des überwiegenden Druckes der äußeren Luft in dem Röhrchen in die Höhe. — Aehnliches gilt vom Trinken, nur daß hier die Lippen ohne dazwischen gebrachte Röhre unmittelbar mit der Flüssigkeit in Berührung sind. (Der Kehldeckel, welcher den Kehlkopf bedeckt, bewirkt, daß die Flüssigkeit beim Schlucken nicht in die Luftröhre, sondern in die Speiseröhre und durch diese in den Magen gelangt.)

Noch mehr Anwendungen des Mariotte'schen Gesetzes enthalten die folgenden Paragraphen.

(Fig. 81.)

Eine besonders nützliche Anwendung des Mariotte'schen Gesetzes, welche man vorzüglich bei Dampfmaschinen anwendet, um die Spannkraft der Dämpfe zu messen, ist das in Fig. 81 abgebildete Manometer. Dasselbe besteht aus einem starken eisernen zum Theil mit Quecksilber gefüllten Gefäße, welches mit den Dämpfen, deren Spannkraft gemessen werden soll, durch das Rohr a verbunden ist. Der Druck derselben treibt das Quecksilber in die mit Luft gefüllte Röhre b und comprimirt die in derselben eingeschlossene Luft. Die Zahlen der neben der Röhre angebrachten Scale 2, 4, 8, 16 zeigen einen Druck von 2, 4, 8, 16 Atmosphären an.

Ueber das Athmen bemerken wir noch Folgendes: Bei der Erweiterung des Brustkastens, welcher überall geschlossen ist, wird zunächst die denselben erfüllende und die Lungen umgebende Luft ausgedehnt und verdünnt. In Folge hiervon bekommt die in den Lungen befindliche Luft das Uebergewicht, dehnt sich aus, und durch die Luftröhre strömt von Außen Luft in die Lungen ein. Das Gegentheil findet bei der Zusammenziehung des Brustkastens statt, indem zunächst die in demselben die Lungen umgebende Luft verdichtet wird. Wäre der Brustkasten nicht luftdicht geschlossen, so würden die Lungen bei nachlassendem Drucke sich nicht wieder ausdehnen, sondern sich wie eine Blase verhalten, aus welcher man durch Zusammenpressen die Luft ausgetrieben hat.

§. 68. Der Stechheber.

(Fig. 82.)

Der Stechheber, Fig. 82, besteht aus einer Röhre, welche unten eine feine Oeffnung hat und sich nach oben bauchig erweitert. Taucht man denselben in eine Flüssigkeit, so wird dieselbe innerhalb eben so hoch, als außerhalb stehen. Verschließt man nun die obere Oeffnung etwa mit dem Daumen und hebt den Stechheber aus der Flüssigkeit heraus, so fließt nur ein geringer Theil der in demselben enthaltenen Flüssigkeit aus; indem nehmlich hierdurch die im Heber über der Flüssigkeit befindliche Luft verdünnt wird, bekommt der äußere Luftdruck am unteren offenen Ende das Uebergewicht und verhindert das Ausfließen, welches erst dann eintritt, wenn man die obere Oeffnung öffnet. Die untere Oeffnung muß jedoch so eng sein, daß die Luft und die Flüssigkeit sich nicht ausweichen können; entgegengesetzten Falles würden in der Röhre Luftblasen durch die Flüssigkeit emporsteigen und die über derselben befindliche Luft verdichten.

Aus dem nehmlichen Grunde, weshalb die Flüssigkeit aus dem Heber erst dann ausfließt, wenn man die obere Oeffnung öffnet, pflegt man bei

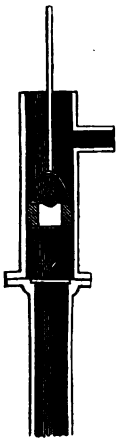
Fässern, welche eine Flüssigkeit enthalten, wenn man diese abzapfen will, den Spund zu öffnen, die Deckel der Thee- und Kaffeekannen mit einer kleinen Oeffnung zu versehen u. dgl. m.

Eben so wird man nach dem Vorhergehenden leicht im Stande sein, die Erscheinungen, welche die gewöhnliche Handspritze darbietet, zu erklären.

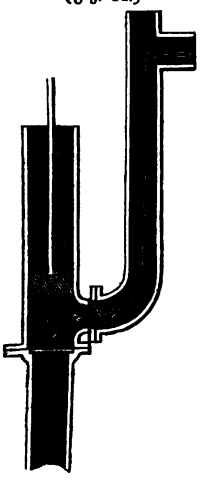
§. 69. Die Saug- und die Druckpumpe.

Die Saugpumpe, Fig. 83, besteht aus einem Cylinder, gewöhnlich Stiefel genannt, in welchem sich der Kolben luftdicht auf- und nieder bewegt, und der Saugröhre, welche vom Boden des Stiefels bis in das zu hebende Wasser reicht. Da wo die Saugröhre mit dem Stiefel verbunden ist, befindet sich ein Ventil a, welches sich nur nach oben öffnet; das Nehmliche gilt von einem im Boden des Kolbens befindlichen Ventile b. Bei dem in die Höhe Ziehen des Kolbens öffnet sich das Ventil a, b schließt sich, und die Luft wird im Stiefel und in der Saugröhre verdünnt; sie wird aber beim Niedergange des Kolbens in der Saugröhre nicht wieder verdichtet, indem sich jetzt a schließt und b öffnet. Je mehr nun beim abwechselnden Auf- und Niedergange des Kolbens die Luft in der Saugröhre verdünnt wird, um so höher wird das Wasser in derselben durch den äußeren Luftdruck emporgetrieben, bis es in den Stiefel über das Ventil a, beim Niedergange des Kolbens auch über das Ventil b tritt und endlich beim Aufsteigen des Kolbens bis zu der Ausgußröhre gehoben wird.

(Fig. 83.)



(Fig. 84.)



Die Druckpumpe, Fig. 84, unterscheidet sich von der Saugpumpe nur darin, daß mit derselben nahe am Boden eine aufwärts gehende Röhre, die Steigeröhre, verbunden ist, an deren Mündung in den Stiefel ein in die Steigeröhre sich öffnendes Ventil b befindlich ist, statt des Ventils im Kolben, welches hier fehlt. Nachdem das Wasser durch das Ventil a bis in den Stiefel getreten ist, wird es beim Niedergange des Kolbens in der Steigeröhre, in dem sich a schließt und b öffnet, emporgetrieben.

Da der Luftdruck nur einer Wassersäule von etwa 32 Par. (oder 33 preuß.) Fuß das Gleichgewicht zu halten vermag, so darf auch bei der vollkommensten Einrichtung einer Saug- oder Druckpumpe der Theil der Saugröhre zwischen dem Wasserspiegel und dem Bodenventile a diese Länge nicht erreichen. Dagegen kann bei der Saugpumpe der Stiefel und bei der Druckpumpe die Steigröhre jede beliebige Länge haben, nur daß natürlich bei vermehrter Höhe der Wassersäule die zum Heben derselben erforderliche Kraft in gleichem Verhältniß zunimmt.

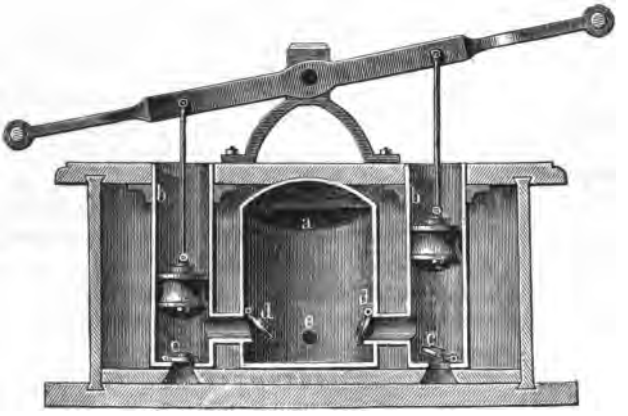
§. 70. Der Heronsball oder Windkessel und die Feuerspritze*).

Der Heronsball, Fig. 85, besteht aus einem luftdicht verschlossenen Gefäße, in welchem sich ein Röhrchen befindet, das unten bis nahe an den Boden des Gefäßes reicht und oben in eine feine Spitze endet. Wenn nun der Heronsball etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt ist, und die Luft in demselben auf irgend eine Art, z. B. durch Einblasen mit dem Munde verdichtet wird, so bekommt die innere verdichtete Luft über die äußere das Uebergewicht und treibt das Wasser in der Röhre empor, so daß es durch die Spitze in einem feinen Strahle hervorspritzt.

(Fig. 85.)

Der Heronsball findet mannigfache Anwendungen, von denen eine der wichtigsten und bekanntesten die Feuerspritze, Fig. 86, ist, bei welcher er den Namen Windkessel führt. Die Feuerspritze besteht nehmlich aus dem Windkessel und zwei Druckpumpen b und b, welche in einem Kasten mit Wasser stehen. Beim Aufsteigen des Kolbens öffnet sich das Ventil c, durch welches das Wasser in den Stiefel tritt und d schließt sich. Beim Niedergange des Kolbens aber schließt sich c, d öffnet sich und das Wasser tritt aus dem Stiefel in den Windkessel a. Je mehr es sich hier ansammelt, um so mehr wird die Luft in dem Windkessel verdichtet. In demselben ist entweder ein bis nahe an den Boden reichendes Rohr, welches oben in eine bewegliche engere Röhre, den sogenannten Schwanenhals, ausläuft, angebracht, oder, was in mancher Hinsicht bequemer ist, es befindet sich in dem Windkessel nahe am Boden bei e eine Oeffnung, an welche ein Schlauch, der in ein Rohr mit enger Oeffnung endet, angeschraubt werden kann. So wie nun durch fortgesetztes Pumpen die Luft in dem Windkessel verdichtet wird, so wird das Wasser durch den Druck der comprimirten Luft aus der

(Fig. 86.)



*) Heron lebte um das Jahr 210 zu Alexandrien. Von demselben rührt auch der Heronsbrunnen her, eine sehr sinnreiche Spielerei, welche wir jedoch übergehen, da sie keine Anwendung findet.

Oeffnung des Rohres in einem kräftigen Strahle hervorgetrieben. — Der Hauptnutzen des Windkessels besteht darin, daß das Wasser nicht bei dem Niedergange des einen oder andern Kolbens stoßweise, sondern in einem continuirlichen Strahle fortgetrieben wird, indem die verdichtete Luft einen beständigen Druck auf das Wasser im Windkessel ausübt.

§. 71. Die Compressionspumpe und die Windbüchse.

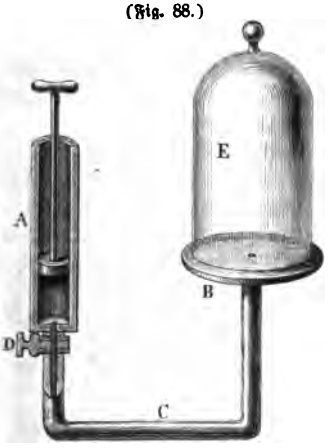
(Fig. 87.)

Die Compressionspumpe, Fig. 87, besteht aus einem starken metallenen Stiefel, in welchem sich ein dicht anschließender Kolben auf und nieder bewegt. Unten bei a befindet sich ein Ventil, welches sich nur nach Außen öffnet, und nahe am oberen Ende bei b eine kleine Oeffnung, durch welche die zu verdichtende Luft in den Stiefel tritt. Daß Gefäß, in welchem die Luft verdichtet werden soll, wird bei a an den Stiefel angeschraubt.

Man bedient sich der Compressionspumpe unter anderen, um die Luft in dem Kolben der Windbüchse zu verdichten. Nachdem dieses geschehen, wird an den Kolben der Lauf angeschroben, welcher der Kugel die Richtung giebt. Vermittelst eines Drückers wird das Ventil, welches den Kolben schließt, auf einen Augenblick geöffnet, und die mit großer Heftigkeit hervordringende, stark verdichtete Luft treibt die Kugel fort.

§. 72. Die Luftpumpe.

(Fig. 88.)



Die Luftpumpe, Fig. 88, eine der wichtigsten Geräthschaften des Physikers, besteht in ihrer einfachsten Gestalt 1) aus einem hohlen Cylinder (Stiefel) A von Messing oder Glas, in welchem sich ein dicht anschließender Kolben auf und nieder bewegen läßt; 2) aus einer sorgfältig abgeschliffenen Platte B (Teller), welche mit dem Stiefel durch eine Röhre C verbunden ist, und auf welche eine gläserne Glocke E (Recipient), in der die Luft verdünnt werden soll, zu stehen kommt; und 3) aus dem Hahne D, welcher eine doppelte Bohrung hat, wie die in größerem Maaßstabe ausgeführten Abbildungen a und b, Fig. 89, zeigen. Wenn der Kolben in die Höhe gezogen wird, hat der Hahn die in Fig. 89, a abgebildete Stellung; die in dem Recipienten E und der Röhre C enthaltene Luft dehnt sich in den Stiefel A aus und wird folglich verdünnt. Damit sie aber beim Niedergange des Kolbens sich nicht wieder verdichte, wird vorher der Hahn D um 90^0 in die Fig. 89, b abgebildete Stellung gedreht, hierdurch die Röhre C und der Recipient E abgesperrt, der Stiefel A aber mit der äußeren Luft verbunden, so daß die

(Fig. 89.)

in dem Stiefel befindliche Luft nach Außen entweichen kann. — Wird dann der Hahn wieder in die Fig. 89, a abgebildete Stellung gedreht und der Kolben in die Höhe gezogen, so wird die in dem Recipienten enthaltene Luft aufs Neue ausgedehnt und so fort bei jedem folgenden Kolbenzuge immer mehr verdünnt. — Nehmen wir an, daß der Recipient E und die Röhre C zusammen mit dem Stiefel A einen gleichen Raumesinhalt haben, so wird nach dem ersten Kolbenzuge die Luft auf die Hälfte, nach dem zweiten Kolbenzuge die Hälfte wieder auf die Hälfte, also auf den vierten Theil, nach dem dritten Kolbenzuge auf den achten Theil u. s. w. verdünnt, so daß nach zehn Kolbenzügen schon eine 1024fache Verdünnung stattfinden müßte*), eine Verdünnung, welche jedoch in der Wirklichkeit auch die ausgezeichnetsten Luftpumpen kaum jemals hervorzubringen im Stande sind. Im Vorhergehenden ist nehmlich zunächst vorausgesetzt, daß alle Theile vollkommen luftdicht schließen, was in der Wirklichkeit nie ganz zu erreichen ist, und dann zweitens, daß der Kolben bei seiner tiefsten Stellung dicht an den Boden des Stiefels und den Hahn anschließt, so daß zwischen denselben gar kein Raum übrig bleibt. Dieser Zwischenraum nehmlich, welcher bei keiner Luftpumpe gänzlich fehlt und der *schädliche Raum* genannt wird, füllt sich, so wie man durch Umdrehung des Hahnes den Stiefel mit der äußeren Luft in Verbindung setzt, mit äußerer Luft, welche sich demnächst beim in die Höhe Ziehen des Kolbens in den Stiefel ausbreitet; man vermag daher die Luft nur höchstens so vielmal zu verdünnen, als wie vielmal der schädliche Raum in dem Stiefel enthalten ist. Diesem schädlichen Raume, welcher sich nie ganz beseitigen läßt, ist es vorzüglich beizumessen, daß auch die besten Luftpumpen eine 1000fache Verdünnung kaum hervorzubringen vermögen.

Statt *eines* Stiefels bringt man an den Luftpumpen deren gewöhnlicher *zwei* an, mit der Einrichtung, daß, während der Kolben in dem einen Stiefel niedergeht, er in dem andern in die Höhe steigt.

Auch wendet man statt des Hahnes D häufig zwei *Ventile* an, von denen das eine im Boden des Stiefels, das andere im Kolben angebracht wird. Ventilluftpumpen haben zwar keinen schädlichen Raum, dagegen vermag, wenn die Verdünnung einen gewissen Grad überschritten hat, die Elasticität der verdünnten Luft die Ventile nicht mehr in Bewegung zu setzen.

Um den Grad der Verdünnung zu bestimmen, bedient man sich eines kleinen Barometers von wenigen Zollen Höhe, welches man unter den Recipienten der Luftpumpe stellt. Steht dieses z. B. auf 1 Linie Höhe, während in der äußeren Luft ein Barometerstand von 28 Zoll stattfindet, so ist die Luft im Recipienten 12 . 28 = 336mal verdünnt.

Man kann sich der Hahnluftpumpen auch zum *Verdichten* der Luft bedienen, indem man an das Ende der Röhre C statt des Tellers das Gefäß luftdicht anschraubt, in welchem die Luft verdichtet werden soll, und beim Niedergange des Kolbens den Hahn D so stellt, daß der Stiefel mit dem Gefäße verbunden ist, beim Aufziehen des Kolbens aber den Hahn so stellt, daß das Gefäß abgesperrt und der Stiefel mit der äußeren Luft verbunden ist.

*) Ist überhaupt der Raumesinhalt des Stiefels a, der des Recipienten nebst der Röhre C = b, so ist nach m Kolbenzügen die Zahl der Verdünnung = $\left(1 + \frac{a}{b}\right)^m$.

Die Luftpumpe ist von Otto v. Guerike, Bürgermeister zu Magdeburg (1650) erfunden worden.

Für stärkere Verdichtungen wendet man niemals die Luftpumpe, sondern die schon oben beschriebene Compressionspumpe an, indem hierbei die Luftpumpe, wegen der feineren Construction ihrer Theile, leicht Schaden leidet.

§. 73. Versuche mit der Luftpumpe.

Mit der Luftpumpe lassen sich zur augenfälligen Bestätigung der schon früher angeführten Gesetze folgende lehrreiche Versuche anstellen, deren leichte Erklärung wir der Kürze wegen dem Leser selbst überlassen wollen:

1) Nach einem oder einigen Kolbenzügen haftet der auf dem Teller lose aufgestellte Recipient an demselben, so daß er sich nur mit Gewalt wieder losreißen läßt.

2) Wenn man einen hohlen, beiderseits offenen Cylinder, welcher am oberen Rande mit einer Blase überbunden oder mit einer sorgfältig abgeschliffenen dünnen Glasplatte bedeckt ist, mit dem unteren Rande auf den Teller der Luftpumpe stellt, so wird die Blase oder die dünne Glasscheibe nach einigen Kolbenzügen zersprengt.

3) Wenn man in einer hohlen Kugel, welche aus zwei luftdicht auf einander passenden und äußerlich mit Handgriffen versehenen Hälften (Magdeburger Halbkugeln) besteht, die Luft stark verdünnt und dann die Kugel durch einen Hahn absperrt, so setzen ihre Hälften dem Auseinanderreißen einen bedeutenden Widerstand entgegen, während sich dieselben mit Leichtigkeit von einander trennen lassen, nachdem man den Hahn geöffnet hat.

4) Quecksilber kann vermittelst des Luftdruckes durch Holz getrieben werden.

5) Eine zugebundene, mit wenig Luft angefüllte Blase schwillt unter dem Recipienten der Luftpumpe an, wenn die Luft verdünnt wird, und fällt wieder zusammen, wenn man die Luft wieder eintreten läßt.

6) Körper von verschiedenem specifischen Gewichte, eine Flaumfeder und ein Ducaten, fallen unter dem Recipienten der Luftpumpe bei starker Verdünnung fast mit gleicher Geschwindigkeit.

Ein Heronsball fängt unter dem Recipienten, so wie die Luft verdünnt wird, an zu springen. Stellt man denselben mit nach unten gerichteter Spitze in ein Glas mit Wasser, so treten bei der Verdünnung zahlreiche Luftblasen durch die Spitze aus, bei dem Wiederzutritt der Luft aber füllt sich der Heronsball mit Wasser. — Bier kommt unter dem Recipienten zum Schäumen (vgl. §. 77). — Ein runzlicher Apfel wird glatt, indem er anschwillt. — Aus einem Ei oder einem Stückchen Holz, welches sich unter Wasser befindet, treten zahlreiche Luftblasen aus u. dgl. m.

Andere Versuche mit der Luftpumpe, welche erst in den folgenden Abschnitten erklärt werden können, werden später an den betreffenden Stellen angeführt werden. Den folgenden interessanten Versuch können wir uns jedoch nicht enthalten, schon hier vorläufig zu erwähnen: Stellt man ein Gefäß mit lauwarmem Wasser unter den Recipienten der Luftpumpe, so kommt dieses, wenn man die Luft rasch und stark verdünnt, in heftiges Sieden, (ohne daß sich seine Temperatur erhöhet).

Im Jahre 1654 stellte Otto v. Guerike auf dem Reichstage zu Regensburg mit der Luftpumpe Versuche an, welche den Kaiser und die versammelten Reichsfürsten in das größte Erstaunen setzten. 24 Pferde vermochten die Magdeburger Halbkugeln, welche ohngefähr eine Elle im Durchmesser hatten, nicht aus einander zu reißen.

Bezeichnen wir den in Zollen ausgedrückten Halbmesser der beiden Halbkugeln mit r, und nehmen wir an, daß die Luft in denselben so stark verdünnt worden ist, daß wir ihre Elasticität, als unbedeutend, vernachlässigen können, und daß die äußere Luft auf jeden Quadratzoll mit einer Kraft von 15 ℔ drückt, so ist die zur Trennung der Halbkugeln erforderliche Kraft $= r^2\pi \cdot 15$ ℔. — Nehmen wir die Magdeburger Elle zu

$21\frac{1}{2}$ par. Zollen an, so ergiebt sich für jede der Guerike'schen Halbkugeln ein Druck der Luft von ohngefähr 5400 ℔; rechnen wir nun die größte Kraft eines Pferdes zu 180 ℔, so würden 30 Pferde an jeder Halbkugel, also im Ganzen 60 Pferde, im Stande gewesen sein, die Halbkugeln aus einander zu reißen.

§. 74. Specifisches Gewicht des Gases.

Durch die Luftpumpe werden wir auch in den Stand gesetzt, das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft und der übrigen Gase zu bestimmen. Zu diesem Zwecke nimmt man einen Ballon von dünnem Glase, welcher mit einer messingenen Fassung versehen ist und durch einen Hahn verschlossen werden kann, macht denselben möglichst luftleer, verschließt hierauf den Hahn und bestimmt nun das absolute Gewicht des Ballons an einer empfindlichen Wage. Hierauf öffnet man den Hahn, läßt die atmosphärische Luft eintreten und bestimmt nun aufs Neue das Gewicht des Ballons. Der Unterschied der beiden Gewichte giebt an, wie viel die in dem Ballon enthaltene atmosphärische Luft wiegt*).

Will man das specifische Gewicht einer anderen Gasart, z. B. des Wasserstoffgases, wissen, so läßt man, nachdem man den Ballon möglichst luftleer gemacht hat, nicht atmosphärische Luft, sondern Wasserstoffgas in denselben eintreten, und wendet im Uebrigen dasselbe Verfahren an. Man erhält auf diese Art zunächst die Gewichte gleicher Volumina atmosphärischer Luft und Wasserstoffgas und durch das Verhältniß derselben das specifische Gewicht des Wasserstoffgases, wenn das der atmosphärischen Luft als Einheit angenommen wird. — Um nun noch die atmosphärische Luft mit Wasser zu vergleichen, hat man nur nöthig, den Ballon mit Wasser zu füllen, sorgfältig abzuwägen und natürlich von dem so erhaltenen Gewichte das des leeren Ballons in Abrechnung zu bringen. Man findet auf diese Art, daß die atmosphärische Luft bei 28 Zoll Barometerstand und Null Grad Temperatur 777**) mal leichter, als Wasser ist, und daß folglich ein par. Kubikfuß atmosphärische Luft ohngefähr $2\frac{1}{2}$ Loth wiegt.

Tabelle der specifischen Gewichte einiger Gase, das der atmosphärischen Luft als Einheit angenommen.

Atmosphärische Luft ***)	1,00	Kohlensaures Gas	1,52
Sauerstoffgas	1,10	Kohlenoxydgas	0,97
Stickstoffgas	0,97	Schweres Kohlenwasserstoffgas	0,97
Wasserstoffgas	0,07	Leichtes Kohlenwasserstoffgas	0,56
Chlor	2,47	Schwefelwasserstoffgas	1,19
Stickstoffoxydul	1,53	Phosphorwasserstoffgas	0,92
Stickstoffoxyd	1,04	Cyan	1,81
Ammoniakgas	0,59	Flußsaures Gas	2,37
Salzsaures Gas	1,25	Schwefligsaures Gas	2,20

§. 75. Der Luftballon.

Da die atmosphärische Luft flüssig und schwer ist, so muß nach dem archimedischen Principe jeder in derselben befindliche Körper so viel an seinem

*) Streng genommen findet man das Gewicht der Luft auf diese Art etwas zu klein, da es nicht möglich ist, den Ballon ganz luftleer zu machen. Die hieraus entspringende Correction ist jedoch, wenn man mit einer guten Luftpumpe die Verdünnung möglichst weit getrieben hat, so klein, daß man dieselbe als unbedeutend vernachlässigen kann.

**) Genauer 773.

***) Wir beschränken uns auf zwei Decimalstellen, da kaum über irgend eine Gasart die Angaben verschiedener Physiker in der dritten Decimalstelle noch übereinstimmen.

Gewichte verlieren, als die durch ihn verdrängte Luftmasse wiegt. Ein Körper wird folglich in der Luft in die Höhe steigen, wenn er ein geringeres Gewicht hat, als eine gleich große Luftmasse. Man gelangt dazu, einen solchen herzustellen, wenn man einen hinreichend großen Ballon von möglichst leichtem, aber luftdichtem Zeuge mit einer Gasart füllt, welche ein geringes specifisches Gewicht hat, als die atmosphärische Luft. Am besten wendet man Wasserstoffgas an, welches im ganz reinen Zustande beinahe 14mal leichter ist, als atmosphärische Luft. Zur Füllung großer Luftballons nimmt man häufig wegen der größeren Wohlfeilheit Steinkohlengas, wie es zur Gasbeleuchtung gebraucht wird, obschon dasselbe nur wenig mehr, als zweimal*) leichter ist, als atmosphärische Luft. Auch ein mit atmosphärischer Luft gefüllter Ballon kann zum Steigen gebracht werden, wenn man unter dem Ballon, welcher unten mit einer Oeffnung versehen ist, Feuer anbringt, wodurch die in demselben befindliche Luft ausgedehnt und verdünnt wird. — Der praktischen Anwendung der Luftballons steht die bis jetzt noch nicht besiegte Schwierigkeit ihrer Lenkung entgegen.

Den ersten mit erwärmter Luft gefüllten Ballon ließen die Gebrüder Montgolfier im Juni 1783 zu Annonay emporsteigen, und im August desselben Jahres ließ Charles den ersten mit Wasserstoffgas gefüllten Ballon zu Paris aufsteigen. Noch im October dieses Jahres wagte Pilatre de Rozier zuerst mit einer von Montgolfier angefertigten Maschine sich in die Luft zu erheben. Bei einer späteren Luftreise, welche derselbe mit Germain unternahm, entzündete sich die Maschine in einer Höhe von ohngefähr 1200 Fuß. Die Luftschiffer stürzten herab und wurden so beschädigt, daß kaum noch die menschliche Gestalt an ihnen zu erkennen war. — Blanchard führte im Januar 1785 die erste Luftreise von Frankreich über den Canal nach England aus. — Von den unzähligen seit dieser Zeit angestellten Luftfahrten verdienen noch diejenigen, welche Biot und Gay-Lüssac und wenige Wochen nachher Gay-Lüssac allein im Jahre 1804 unternahmen, wegen der damit verbundenen wissenschaftlichen Beobachtungen eine Erwähnung. — Gay-Lüssac erreichte eine Höhe von 21,600 (rheinl.) Fuß, die größte Höhe, zu welcher sich je ein Mensch erhoben haben dürfte**). Sie übertrifft selbst noch die Höhe des Chimborasso (20,800 Fuß). Das Thermometer zeigte in dieser Höhe 10° C. unter Null, während unten auf der Erde eine Hitze von 30° statthatte. Gay-Lüssac legte bei dieser Reise einen Weg von 15 Meilen zurück. — In neuerer Zeit hat besonders der Engländer Green zahlreiche Luftreisen unternommen. Im November 1836 stieg derselbe mit zwei Gefährten in einem mit Kohlengas gefüllten Ballon in London auf und ließ sich nach einer Luftreise von 19 Stunden bei Weilburg nieder.

Um die Kraft, mit welcher ein Luftballon emporsteigt, oder die Last, welche derselbe zu tragen vermag, um sich eben in der Luft schwebend zu erhalten, zu finden, hat man zuerst das Gewicht einer dem Ballon gleichen Luftmasse (1 Par. Kubikfuß = 2,8 Loth) zu berechnen und hiervon das Gewicht einer gleich großen Masse des den Ballon füllenden Gases, ferner das Gewicht der Hülle, zu welcher man gewöhnlich einen mit Firniß getränkten Taffet nimmt, (von welchem 1 Quadratfuß ohngefähr $1\frac{1}{2}$ Loth wiegt), in Abrechnung zu bringen. Nimmt man an, daß das (nicht chemisch reine) Wasserstoffgas 7mal leichter als atmosphärische Luft ist, so erhält man

für	einen	Ballon	von	5	Par.	Fuß	Durchmesser	eine	Steigkraft	von	1	℔
"	"	"	"	10	"	"	"	"	"	"	23	"
"	"	"	"	20	"	"	"	"	"	"	232	"
"	"	"	"	50	"	"	"	"	"	"	4240	"
"	"	"	"	100	"	"	"	"	"	"	35300	"
"	"	"	"	200	"	"	"	"	"	"	288000	"

*) Die Dichtigkeit des Steinkohlengases ist im Mittel in England = 0,476.

**) Eine ohngefähr gleiche Höhe haben Barral und Bixio bei einer am 27. Juli 1850 zu Paris unternommenen Luftfahrt erreicht.

Ist überhaupt der in Fußen ausgedrückte Halbmesser eines Ballons r, das Gewicht eines Kubikfußes atmosphärischer Luft a, das Gewicht eines Kubikfußes Wasserstoffgas b, das Gewicht eines Quadratfußes der Hülle c, so ist die Steigkraft des Ballons gleich

$$^4/_3 r^3 \pi\ (a-b) - 4r^2\pi\ .\ c.$$

Da der Raumesinhalt eines Ballons in gleichem Verhältnisse mit der dritten Potenz, seine Oberfläche aber nur wie die zweite Potenz seines Durchmessers zunimmt, so begreift man leicht, warum die Steigkraft eines Ballons mit dem Durchmesser wächst. Wenn man z. B. den Durchmesser verdoppelt, so wird der körperliche Inhalt des Ballons, also auch das Gewicht der verdrängten Luftmasse 8mal vergrößert, während die Oberfläche, also auch das Gewicht der Hülle, nur 4mal größer wird.

Da die Luft in den oberen Regionen eine geringere Dichtigkeit hat, so muß natürlich die Steigkraft des Ballons, je mehr er in die Höhe kommt, abnehmen und endlich der Ballon ganz aufhören zu steigen.

Da ferner die Hülle niemals ganz luftdicht schließt, so sinkt der Ballon nach längerer oder kürzerer Zeit wieder zu Boden.

Steigt der Ballon rasch in die Höhe, so wird das den Ballon füllende Gas, welches mit den unteren Luftschichten eine gleiche Elasticität besitzt, die oberen dünneren Luftschichten an Elasticität übertreffen und den Ballon zu zerreißen streben. Zur Vermeidung dieser Gefahr öffnet man eine am Ballon angebrachte Klappe und läßt etwas Gas ausströmen, wonach natürlich der Ballon wieder etwas fällt. Außerdem pflegen die Luftschiffer in der an den Ballon angehängten Gondel Ballast mitzunehmen, durch dessen Auswerfen der Ballon erleichtert und zum weiteren Emporsteigen gebracht werden kann. Da hiernach der Luftschiffer es einigermaßen in seiner Gewalt hat, eine größere oder geringere Höhe zu erreichen, und die Luftströmungen in verschiedenen Höhen oft ganz verschiedene Richtungen haben, so kann dieser Umstand dem Luftschiffer für die horizontale Fortbewegung des Ballons in einer gewünschten Richtung sehr günstig werden, wenn es ihm gelingt, einen Luftstrom, welcher diese Richtung hat, anzutreffen und sich längere Zeit in derselben Höhe zu erhalten, was jedoch große Schwierigkeit hat, da die zu den Ballons bis jetzt verwendeten Stoffe nicht völlig luftdicht sind.

*§. 76. Mengung zweier Gase.

Die atmosphärische Luft ist kein einfaches Gas, sondern ihren Hauptbestandtheilen nach ein Gemenge von zwei Gasen, Sauerstoff und Stickstoff. In 100 Theilen atmosphärischer Luft sind dem Volumen nach 21 Theile Sauerstoff und 79 Theile Stickstoff enthalten. Dieses Verhältniß ist für alle Schichten der Atmosphäre das nehmliche; es bleibt dasselbe auf hohen Bergen, wie in der Ebene und in tiefen Thälern, obschon das specifische Gewicht des Sauerstoffs das des Stickstoffs ohngefähr um $^1/_8$ übertrifft.

Wenn man überhaupt in einen Raum oder in zwei mit einander verbundene Räume zwei Gase bringt, so ordnen sich dieselben nicht nach Maaßgabe ihres specifischen Gewichtes über einander, sondern vermischen sich überall gleichförmig. So ist z. B. das kohlensaure Gas anderthalbmal so schwer, als atmosphärische Luft; wenn man aber eine mit kohlensaurem Gase gefüllte aufrecht stehende Flasche öffnet, so mischt sich dieses Gas trotz seines größeren Gewichtes mit der leichteren atmosphärischen Luft, und nach einiger Zeit wird man in der Flasche kaum noch eine Spur von kohlensaurem Gase entdecken, (nehmlich nicht mehr, als in der atmosphärischen Luft überhaupt, welche jederzeit einen geringen Antheil von Kohlensäure enthält).

*§. 77. Absorption der Gase.

Luftförmige Körper werden von flüssigen und porösen festen Körpern absorbirt, wobei sich der absorbirende Körper erwärmt und zwar um so mehr, je größer die Menge des absorbirten Gases ist. — Die Menge, welche eine Flüssigkeit von einem Gase verschluckt, hängt eben so wohl von der Natur der Flüssigkeit, als von der Natur des Gases ab. So absorbirt

z. B. ein Maaß reines Wasser ohngefähr 666 Maaß Ammoniakgas, ferner etwas mehr, als 1 Maaß Kohlensäuregas, aber nur $^1/_{27}$ Maaß Sauerstoffgas und $^1/_{40}$ Maaß Stickstoffgas. In einem Maaße Wasser, welches hinreichend lange an der Luft gestanden hat, ist daher $^1/_{27}$ so viel absorbirter Sauerstoff und nur $^1/_{40}$ so viel Stickstoff, als in einem Maaße atmosphärischer Luft enthalten. Dieser verhältnißmäßig größere Gehalt an Sauerstoff, als an Stickstoff der vom Wasser absorbirten Luft dürfte nicht ohne Nutzen für das Athmen der im Wasser lebenden Thiere sein.

Im Allgemeinen gilt von der Absorption der Gase durch Flüssigkeiten folgendes Gesetz: — Die Menge des absorbirten Gases ist um so größer, je größer der Druck ist, welchen dasselbe erleidet, und je niedriger die Temperatur der absorbirenden Flüssigkeit ist; beide Umstände vermehren nehmlich die Dichtigkeit des freien Gases und daher nimmt auch die Menge des von der Flüssigkeit absorbirten Gases zu. Umgekehrt entweicht aus einer Flüssigkeit ein Theil des absorbirten Gases, wenn der Druck vermindert oder die Temperatur erhöht wird, wie man dieses z. B. am Champagner, Weißbiere, Selterser und anderen Kohlensäure enthaltenden Mineralwassern zu beobachten Gelegenheit hat. — In den beiden ersteren Flüssigkeiten entwickelt sich durch den Gährungsproceß Kohlensäure, welche, wenn die Flaschen gut verkorkt sind, größtentheils von der Flüssigkeit absorbirt wird, bis auf einen Theil, welcher nebst etwas atmosphärischer Luft den Theil der Flasche ausfüllt, welchen die Flüssigkeit leer gelassen hat. Je größer nun die Menge des überhaupt in der Flasche enthaltenen Gases ist, um so größer ist der Druck, welchen die Wände der Flasche und der Kork erleiden. Wird durch Oeffnung des Korkes dieser Druck vermindert, so entweicht das Gas mit Heftigkeit. — Aehnliches geschieht bei der Erwärmung, wenn die Flüssigkeit sich in einem offenen Gefäße befindet. Bier, in einem Glase auf den Ofen gestellt, fängt wieder an zu schäumen; eben so steigen aus dem Trinkwasser Luftblasen empor, wenn man dasselbe erwärmt. — Am vollständigsten, wenn auch nicht gänzlich, wird eine Flüssigkeit durch Sieden von den in ihr enthaltenen Gasen befreit. Aehnliches findet beim Frieren statt.

Bringt man in eine Flüssigkeit in derselben lösliche, feste Körper, so vermindert sich in der Regel das Absorptionsvermögen derselben, und ein Theil des verschluckten Gases entweicht; so kommt Bier ins Schäumen, wenn man in demselben Zucker auflöst. Auch durch Umrühren, Schütteln u. s. w. wird die Gasentwickelung beschleunigt.

Von den festen Körpern führen wir nur die Kohle an, welche die Eigenschaft, Gase zu absorbiren, in ausgezeichnetem Grade besitzt, wobei sich allemal Wärme entwickelt, welche bei frisch bereiteter und in großen Massen aufgehäufter, fein pulverisirter Holzkohle sich bis zur Entzündung steigern kann.

So wie wir oben gesehen haben, daß Gase in den Poren fester und flüssiger Körper verdichtet werden, so findet eine ähnliche Verdichtung in Folge der Adhäsion an den Oberflächen aller festen und flüssigen Körper statt, mit welchen die Gase in Berührung sind. Durch diese Verdichtung werden in nicht seltenen Fällen chemische Wirkungen hervorgerufen. Taucht man z. B. ein ganz reines Platinblech in ein Gemisch von Sauerstoff- und Wasserstoffgas, so tritt eine langsame Vereinigung beider Gase zu Wasser ein. Die hierbei entbundene Wärme steigert sich allmählig so weit, daß das Platin glühend wird, worauf eine rasche Verbindung beider Gase erfolgt. Am wirksamsten zeigt sich das Platin hierbei, wenn es als ein feines Pulver in Form kleiner

Schwämmchen in das Gasgemenge gebracht wird, theils wegen der mit der vergrößerten Oberfläche vermehrten Anziehung, theils weil es in dem fein zertheilten Zustande sich leichter erwärmt; man wendet diese Schwämmchen unter anderen in den früher mehr gebräuchlichen Platinfeuerzeugen an. — Auf gleiche Weise bewirkt das fein zertheilte Platin die Verbindung des Sauerstoffs mit Alkoholdämpfen zu Essigsäure, mit schwefeliger Säure zu Schwefelsäure u. dgl. m. — Ein ähnliches Verhalten, wie Platin, zeigen auch andere Metalle, Gold, Osmium, Iridium, Palladium u. a. m. Selbst nichtmetallische Körper, wie Bimstein, zerstoßenes Glas u. a. m. vermögen, wenn sie bis über die Temperatur des siedenden Queckſilbers erwärmt werden, die nehmlichen Wirkungen hervorzubringen. — Man nennt dieselben chemische Wirkungen durch Contact.

Wenn feste oder flüssige Körper mit Dämpfen in Berührung sind, so kann die Verdichtung, welche die Dämpfe durch die Adhäsionsanziehung an der Oberfläche des festen oder flüssigen Körpers erleiden, die Condensation der Dämpfe zu tropfbarer Flüssigkeit herbeiführen. So schlagen sich die Wasserdämpfe an den Wänden fester Körper zu Wasser nieder und befeuchten dieselben. Thoniger Boden saugt aus der Luft Wasserdämpfe ein, condensirt dieselben und ist feucht, auch ohne daß es geregnet hat.

Da alle Flüssigkeiten bei der gewöhnlichen Lufttemperatur, ja selbst feste Körper verdunsten, so müssen der Atmosphäre beständig geringe Mengen der mannigfaltigsten Dämpfe beigemengt sein, welche sich in flüssiger oder fester Form an den Oberflächen fester Körper wieder ablagern; es müssen sich auf diese Art alle in der Luft befindlichen Körper mit der Zeit an ihrer Oberfläche theils mit condensirten Dämpfen, theils mit den in der Luft schwebenden Staubtheilchen bekleiden. Sind sich die Oberflächen zweier Körper sehr genähert, so werden sich diese Ablagerungen zwischen beiden vertheilen, aber für verschiedene Stellen ungleich, wenn die Oberflächen nicht glatt, sondern mit Erhabenheiten und Vertiefungen versehen sind und also an verschiedenen Stellen ungleiche Abstände von einander haben. Eben so wird der auf der einen Fläche vorhandene Schmutz sich ungleich auf die andere übertragen. Hierdurch kann es geschehen, daß, wenn die eine Fläche glatt und polirt ist, und beide Flächen sich längere Zeit einander gegenüber befinden, auf der glatten Fläche ein den Erhabenheiten und Vertiefungen der andern entsprechendes Bild hervorgerufen wird. Es erklärt sich hieraus die Erscheinung, daß man nicht selten in Uhren den auf dem feinen Deckel des Uhrwerks eingravirten Namen des Verfertigers an der Innenseite des Gehäuses abgebildet findet, ferner daß auf einer Glasscheibe, welche lange Zeit vor einem Kupferstiche befestigt gewesen ist, sich ein mattes Bild desselben erzeugt u. dgl. m. Man kann ähnliche Bilder leicht hervorrufen, wenn man den Stempel eines Petschafts auf einer polirten Metallplatte oder ganz reinen Glasplatte längere Zeit stehen läßt und nachher die Platte anhaucht. Das auf diese Art erhaltene Bild ist eine Folge davon, daß die Wasserdämpfe sich an solchen Stellen der Oberfläche, welche eine, wenn auch sehr geringe und an sich für das Auge nicht wahrnehmbare Verschiedenheit besitzen, ungleich ablagern. — Da Moser in Königsberg zahlreiche Versuche über diese Bilder angestellt hat, so giebt man ihnen auch den Namen Moser'sche Bilder.

Wir haben die Pneumatik, die Lehre von den Gesetzen der Bewegung luftförmiger Körper, ganz übergangen, weil eine den wirklich stattfindenden Erscheinungen entsprechende Theorie mit zu großen Schwierigkeiten verbunden ist.

Die folgende zuerst von Clement und Desormes beschriebene Erscheinung wollen wir noch anreihen. Wenn ein rasch bewegter Luftstrom, welcher aus einer engen Oeffnung austritt, sich plötzlich in einen größeren Raum ausbreitet, so kann es geschehen, daß die Dichtigkeit der Luft in diesem Raume beträchtlich unter die der äußeren Luft herabgeht und daher die diesen Raum umschließenden Wände einen stärkeren Druck von der äußeren, als von der umschlossenen Luft erleiden. Läßt man z. B. das eine Ende einer Röhre durch einen Kork gehen, an welchem man eine kreisförmige Scheibe von dünnem Pappdeckel befestigt hat, und hält unter diese Scheibe eine eben solche Scheibe in einem kleinen Abstande, Fig. 90, während man durch die Röhre bläst, so wird die untere Scheibe durch den stärkeren äußeren Luftdruck nach der oberen hingetrieben und getragen; sie fällt aber ab, wenn man mit Blasen aufhört.

(Fig. 90.)

*§. 78. Geschichtliche Uebersicht.

210 v. Chr. Heron von Alexandrien erfindet den Windkessel und kennt die Erscheinungen des Hebers.
1644 n. Chr. Torricelli erfindet das Barometer.
1650. Otto v. Guerike erfindet die Luftpumpe.
1660. Boyle in England entdeckt und 1676 bestätigt Mariotte in Frankreich das nach letzterem benannte Gesetz.
1783. Montgolfier und Charles lassen die ersten Luftballons aufsteigen.
1823. Faraday in England stellt verschiedene Gase flüssig dar.

Zweite Abtheilung.

Chemische, magnetische und electrische Erscheinungen.

Fünfter Abschnitt.

Chemische Erscheinungen.

---

§. 79. Einfache Stoffe.

Die Chemie theilt alle Körper in einfache und zusammengesetzte. Ein sehr deutliches Beispiel eines zusammengesetzten Körpers ist der Zinnober, welcher aus Schwefel und Quecksilber besteht; Beispiele von einfachen Stoffen sind der Schwefel und die Metalle. Bei Weitem die meisten Körper, welche wir in der Natur antreffen, sind zusammengesetzt; selbst das Wasser ist kein einfacher Körper, sondern aus zwei einfachen Stoffen, Wasserstoff und Sauerstoff, zusammengesetzt; sämmtliche Mineralien, mit Ausnahme des Diamants, des Schwefels und der reguliniſchen Metalle, ferner alle thierischen und Pflanzenkörper sind zusammengesetzt.

Diejenigen Stoffe, aus denen ein zusammengesetzter Körper besteht, heißen seine Bestandtheile. Um die Bestandtheile eines zusammengesetzten Körpers zu erforschen, kennt man zwei Wege, die Zerlegung (Analysis) und die Zusammensetzung (Synthesis). So läßt sich z. B. das Wasser durch die Volta'sche Säule in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegen, und umgekehrt läßt sich durch die Vereinigung beider Bestandtheile, z. B. wenn man durch die Mischung derselben einen electrischen Funken leitet, wieder Wasser darstellen.

Das Bestreben zweier Körper, sich chemisch zu verbinden, heißt ihre chemische Verwandtschaft. Manche Körper scheinen gar keine chemische Verwandtschaft zu einander zu besitzen, d. h. sie lassen sich gar nicht verbinden, z. B. Gold und Wasser. Andere Körper besitzen dieselbe in sehr verschiedenem Grade. Wenn man z. B. Zinnober mit feinem Eisenpulver,

(wie es in Apotheken vorräthig ist,) mischt und das Gemenge erhitzt, so geht der Schwefel des Zinnobers an das Eisen über und verbindet sich mit demselben; das Queckſilber aber wird ausgeschieden. Wir schließen hieraus, daß der Schwefel eine stärkere Verwandtschaft zum Eisen, als zum Queckſilber hat.

Bei vielen zusammengesetzten Körpern unterscheidet man *nähere* und *fernere Bestandtheile*. So sind z. B. die näheren Bestandtheile des Kupfervitriols Schwefelsäure und Kupferoxyd. Diese beiden Körper sind jedoch selbst wieder zusammengesetzt; die Schwefelsäure nehmlich ist eine Verbindung des Schwefels mit Sauerstoff und das Kupferoxyd eine Verbindung des Kupfers mit Sauerstoff. Die entfernteren Bestandtheile des Kupfervitriols sind also: Schwefel, Kupfer und Sauerstoff.

Unter einem einfachen Stoffe versteht man natürlich das Gegentheil eines zusammengesetzten, also einen solchen, welcher sich nicht weiter zerlegen läßt. Da jedoch die Chemie niemals dahin gelangen kann, von einem Stoffe zu erweisen, daß er wirklich einfach, unzerlegbar ist, so nennt man schon diejenigen Stoffe *einfach*, welche sich nach dem gegenwärtigen Standpunkte unserer chemischen Kenntnisse als unzerlegbar herausgestellt haben. Solcher Stoffe kennt man gegenwärtig einige sechszig; man unterscheidet metallische und nicht metallische Stoffe. Zu den bekanntesten und verbreitetsten nichtmetallischen Stoffen gehören der Sauerstoff, der Wasserstoff, der Stickstoff, der Phosphor, der Schwefel, der Kohlenstoff u. a. m. Die drei zuerst aufgeführten (Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff) kennen wir nur in luftförmigem Zustande.

§. 80. Metalle.

Die *Metalle* zeichnen sich mehrentheils vor den übrigen einfachen Stoffen durch ein beträchtliches specifisches Gewicht, starken Glanz, Undurchsichtigkeit, Geschmeidigkeit, Schmelzbarkeit und dadurch aus, daß sie die besten Leiter der Wärme und Electricität sind. — Unter den angeführten Eigenschaften befindet sich indeß keine, welche den Metallen ausschließlich zukäme, nicht auch einem oder dem andern nicht metallischen Stoffe angehörte; auch gelten mehrere dieser Eigenschaften nicht für alle Metalle. Es ist daher auch nicht möglich, zwischen den metallischen und nicht metallischen Stoffen eine scharfe Grenzlinie zu ziehen; vielmehr findet ein allmähliger Uebergang von den einen zu den anderen statt.

Einige Metalle, wie z. B. Gold und Platin, werden im reinen, unvermischten Zustande in der Natur angetroffen; andere dagegen finden sich niemals unvermischt, sondern nur in chemischer Verbindung mit anderen Stoffen, besonders mit Sauerstoff. Zu diesen Verbindungen gehören ins Besondere die so genannten Alkalien (s. unten §. 83) und die Erden, welche man früher für einfache Stoffe hielt. In neuerer Zeit ist es jedoch gelungen, dieselben in Sauerstoff und einen metallischen Stoff zu zerlegen. So sind z. B. das Kali, Natron, die Kalkerde, die Baryterde, die Thonerde u. s. w. Verbindungen des Sauerstoffs mit Metallen, welchen man die Namen Kalium, Natrium, Calcium, Baryum, Aluminium*) u. s. w. gegeben hat. Da

*) Besonderes Interesse hat in neuerer Zeit das Metall der Thonerde, Aluminium, erweckt, indem dasselbe weiß wie Silber, an der Luft unveränderlich, im höchsten Grade dehnbar und wie Eisen schmiedbar, dabei leichter als Glas (sp. G. = 2,56) ist. Die praktische Anwendbarkeit desselben wird davon abhängen, ob es gelingt, das Metall aus der Thonerde ohne zu große Kosten darzustellen. Ein Kilogramm kostet etwa 100 Frank.

diese Metalle mehrentheils ein geringes specifisches Gewicht besitzen, so nennt man sie auch leichte, zum Unterschiede von den schweren Metallen, welche sämmtlich mehr, als fünfmal schwerer, als Wasser sind.

Die schweren Metalle theilte man früher in edle und unedle. Die unedlen Metalle, zu denen Zink, Eisen, Blei, Zinn und Kupfer gehören, verlieren, wenn sie an der Luft stark erhitzt werden, an der Oberfläche ihr metallisches Aussehen und gehen in einen erdigen Zustand über, indem sie sich mit dem Sauerstoff der Luft verbinden. Die edlen Metalle dagegen, als Quecksilber, Silber, Gold und Platin, können, wenn sie mit Sauerstoff verbunden sind, durch Erwärmen leicht von demselben befreit werden, und Silber, Gold und Platin verändern auch beim Schmelzen und Glühen ihr metallisches Aussehen nicht, (verbinden sich nicht mit Sauerstoff).

Die natürlichen Verbindungen der schweren Metalle mit einem nicht metallischen Stoffe, z. B. Sauerstoff oder Schwefel, nennt man gewöhnlich Erze, und die reinen Metalle werden auch regulinische (Metallkönige) genannt.

§. 81. Zusammengesetzte Körper.

Die zusammengesetzten Körper bestehen meistens aus zwei, drei oder vier, selten aus mehr einfachen Stoffen. Mehrentheils verbinden sich die einfachen Stoffe nur wieder mit einfachen Stoffen, die zusammengesetzten mit zusammengesetzten; seltener vereinigt sich ein einfacher Körper mit einem zusammengesetzten. Die Körper, welche aus zwei einfachen Stoffen bestehen, nennt man Verbindungen der ersten Ordnung oder binäre Verbindungen; durch die chemische Vereinigung zweier Körper der ersten Ordnung entstehen die Verbindungen der zweiten Ordnung u. s. w. Am meisten verbreitet sind die Verbindungen der ersten und zweiten Ordnung, schon die Verbindungen der dritten Ordnung sind weit weniger zahlreich.

Zu den zusammengesetzten Körpern der ersten Ordnung gehören die meisten Säuren und die Basen; zu denen der zweiten Ordnung gehören die Salze, welche durch die Vereinigung der Säuren mit den Basen hervorgehen.

§. 82. Säuren.

Den Säuren kommen folgende Eigenschaften zu: 1) Sie bilden mit den Basen Salze. 2) Sie werden aus diesen Verbindungen durch die Volta'sche Säule am positiven Pole ausgeschieden. 3) Die meisten Säuren sind im Wasser löslich und färben blaue Pflanzenfarben, z. B. Lackmustinktur, roth. 4) Sie haben mehrentheils einen sauern Geschmack.

Die meisten Säuren sind Verbindungen eines einfachen, nicht metallischen Stoffes, welchen man das Radikal nennt, mit Sauerstoff; so sind z. B. die Schwefelsäure, die Phosphorsäure, die Kohlensäure Verbindungen des Schwefels, des Phosphor, des Kohlenstoffs mit Sauerstoff. Andere Säuren, welche sich besonders in den organischen Körpern finden, sind Verbindungen des Sauerstoffs mit einem zusammengesetzten Radikal. So bestehen fast sämmtliche Pflanzensäuren, die Essigsäure, die Citronensäure u. dgl., aus Sauerstoff und einem aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammengesetzten Radikale.

Einige Säuren sind Verbindungen einfacher oder zusammengesetzter Körper mit Wasserstoff; so ist z. B. die Salzsäure eine Verbindung des Wasserstoffs mit Chlor, die Blausäure eine Verbindung des Wasserstoffs mit einem aus Kohlenstoff und Stickstoff zusammengesetzten Körper, welchen man Cyan nennt.

§. 88. Basen und Salze.

Die Basen haben nur wenig übereinstimmende Merkmale. 1) Sie sind Verbindungen der Metalle mit Sauerstoff, Metalloxyde, (mit Ausnahme derjenigen Salzbasen, welche der organischen Natur angehören, und des Ammoniak, welches aus Stickstoff und Wasserstoff besteht). 2) Sie verbinden sich mit den Säuren zu Salzen. 3) Sie werden aus diesen Verbindungen durch die Volta'sche Säule am negativen Pole ausgeschieden, und 4) sie stellen, wenn sie in Wasser löslich sind, die durch Säuren gerötheten blauen Pflanzenfarben wieder her.

Die (anorganischen) Basen zerfallen in folgende Abtheilungen: Alkalien, alkalische Erden, eigentliche Erden und Oxyde der schweren Metalle, Metalloxyde im engern Sinne.

Die Alkalien (Kali, Natron und Ammoniak) sind die stärksten Salzbasen, d. h. sie haben im Allgemeinen zu den Säuren die stärkste Verwandtschaft; sie haben einen eigenthümlichen, laugenartigen Geschmack, greifen organische Substanzen an und zerstören sie mit der Zeit, weshalb man sie ätzend nennt. Kali und Natron, so wie auch ihre Verbindungen mit Kohlensäure (die bekannte Pottasche und Soda), sind im Wasser leicht löslich; Ammoniak ist luftförmig und wird in großer Menge vom Wasser absorbirt (Salmiakgeist).

Die alkalischen Erden (Kalkerde, Baryterde, Bittererde oder Magnesia u. s. w.) stimmen in den meisten Merkmalen mit den Alkalien überein, sind aber im Wasser weniger löslich. So ist z. B. die Kalkerde, der sogenannte gebrannte Kalk im Wasser nur wenig löslich, die kohlensaure Kalkerde (Kreide, Marmor, Kalkspath) aber ganz unlöslich.

Die eigentlichen Erden (Thonerde, Zirkonerde u. a. m.) wirken nicht ätzend und sind im Wasser unlöslich.

Die Oxyde der schweren Metalle zeichnen sich durch ihr größeres specifisches Gewicht aus.

Die Salze sind, wie schon oben bemerkt, Verbindungen der Säuren mit den Salzbasen. Da mit wenigen Ausnahmen jede Säure mit jeder Base ein Salz bilden kann, so ist ihre Zahl außerordentlich groß. In ihren äußeren Merkmalen haben sie wenig Uebereinstimmendes. Viele Salze sind im Wasser löslich, z. B. Salpeter, Soda, Kupfervitriol; andere sind im Wasser unlöslich, z. B. Kalkspath.

Den Gegensatz zwischen Säuren und Basen und die Ausgleichung desselben in den aus ihrer Verbindung hervorgehenden Salzen haben die Untersuchungen verschiedener Chemiker in den Jahren 1600 bis 1660 kennen gelehrt.

Zu den Alkalien wird auch das in der Natur wenig verbreitete, in einigen Mineralien, z. B. im Lithionglimmer vorkommende Lithion gerechnet, welches jedoch im Wasser nur wenig löslich ist.

Kali und Natron bilden mit Oelen und Fetten, ersteres schmierige, letzteres harte Seifen, welche im Wasser löslich sind; die Kalkerde und die übrigen alkalischen Erden bilden mit Fetten und Oelen ebenfalls Seifen, welche jedoch im Wasser unlöslich sind. Wenn man gewöhnliche (Kali- oder Natron-) Seife in sogenanntes hartes Wasser bringt, welches kohlensaure Kalkerde aufgelöst enthält, so findet eine Zersetzung der Kali- oder Natron-Seife in der Art statt, daß an die Stelle von Kali oder Natron Kalkerde tritt, und da die hierdurch gebildete Seife im Wasser unlöslich ist, so entsteht in dem Wasser eine Trübung.

Viele Basen verbinden sich mit gewissen Säuren in mehr, als einem Verhältnisse. Man unterscheidet saure, basische und Neutralsalze. In den Neutralsalzen ist

der Gegensatz zwischen Säure und Base am vollständigsten ausgeglichen; die sauren Salze enthalten verhältnißmäßig mehr, die basischen weniger Säure, als die Neutralsalze.

Bei einigen Salzen, welche man Doppelsalze nennt, ist die Säure mit zwei Basen verbunden, z. B. im Alaun, welcher aus Schwefelsäure, Kali und Thonerde besteht.

Von den sogenannten Haloidsalzen wird weiter unten beim Chlor die Rede sein.

§. 84. Chemische Verwandtschaft.

Das Bestreben zweier Körper, sich chemisch mit einander zu verbinden, nennt man ihre chemische Verwandtschaft. Welches die Ursache dieser gegenseitigen Anziehung ist, ist uns unbekannt. — Verschiedene Stoffe zeigen auch eine sehr verschiedene chemische Verwandtschaft zu einander. So verbindet sich z. B. der Sauerstoff und der Schwefel mit allen anderen einfachen Stoffen, (mit einziger Ausnahme des für sich noch nicht dargestellten Fluors.) Eben so gehen die Metalle leicht Verbindungen unter einander ein. Dagegen kennt man nur von wenigen Metallen Verbindungen mit dem Wasserstoff oder Stickstoff.

Der chemischen Verwandtschaft wirkt die Cohäsion entgegen. In seltenen Fällen verbinden sich zwei feste Körper mit einander, wie z. B. Kochsalz und Eis. In der Regel muß wenigstens einer von beiden Körpern, welche in eine Verbindung eintreten sollen, flüssig (oder in einer Flüssigkeit aufgelöst) oder luftförmig sein.

Häufig wird auch durch chemische Verwandtschaft die Zerlegung eines zusammengesetzten Körpers bewirkt. Wenn nehmlich zu der Verbindung AB ein dritter Stoff C hinzutritt, welcher zu einem der beiden Bestandtheile A größere Verwandtschaft hat, als B, so verbindet sich A mit C, und B wird ausgeschieden. Man nennt dieses einfache Wahlverwandtschaft. So z. B. treibt die Salpetersäure (Scheidewasser) aus dem kohlensauren Kalke die Kohlensäure aus und verbindet sich mit dem Kalke zu einem im Wasser leicht löslichen Salze. — Aus einer Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd (Kupfervitriol) wird durch Zusatz von Kali, welches sich mit der Schwefelsäure verbindet, das Kupferoxyd gefällt.

Wenn zu einer Verbindung AB eine andere CD hinzutritt, so kann es geschehen, daß sich A mit C und B mit D verbindet. Man nennt den Grund dieser Erscheinung die doppelte Wahlverwandtschaft. Wenn man z. B. die wässerigen Lösungen von kohlensaurem Kali und salpetersaurem Kalke mit einander vermischt, so werden kohlensaurer Kalk, welcher sich niederschlägt, und salpetersaures Kali, Salpeter, welcher aufgelöst bleibt, gebildet.

Die Lehre von der chemischen Wahlverwandtschaft ist durch Geoffroy in Paris 1718 begründet worden.

§. 85. Sauerstoff.

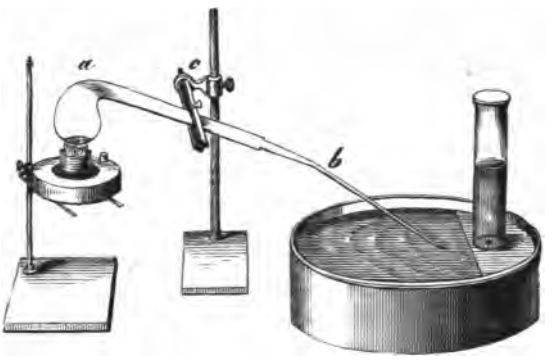
Der Sauerstoff (Oxygenium) ist in der Natur außerordentlich verbreitet; er ist ein Bestandtheil der atmosphärischen Luft und bei Weitem der meisten organischen und anorganischen Körper; er wird dargestellt indem man Braunstein, eine Verbindung eines metallischen Körpers, Mangan, mit Sauerstoff (Mangansuperoxyd), bis zum starken Glühen erhitzt, wobei der Braunstein einen Theil seines Sauerstoffs abgiebt, welcher in Gasform entweicht.

Der Sauerstoff ist ein farbloses Gas, geschmacklos und geruchlos und etwas schwerer als atmosphärische Luft. Er ist sowohl zum Athmen, als zum Verbrennen der Körper erforderlich. Im reinen Sauerstoffgase verbrennen

angezündete Körper unter weit stärkerer Licht- und Wärmeentwickelung, als in der atmosphärischen Luft, welche nur ohngefähr ein Fünftel Sauerstoff enthält, indem die übrigen vier Fünftel aus Stickstoff bestehen; selbst solche Körper, welche in der atmosphärischen Luft nicht brennbar sind, können im Sauerstoffgase verbrannt werden. Ein feiner Eisendraht oder eine Uhrfeder lassen sich im Sauerstoffgase unter lebhaftem Funkensprühen verbrennen; Phosphor verbrennt im Sauerstoffgase mit einem Lichte, welches dem Sonnenlichte an Glanz gleich kommt; glimmende Kohle verbrennt mit einem glänzenden Lichte, Schwefel mit einer schönen blauen Flamme u. dgl. m.

Der Sauerstoff ist zuerst 1774 von Priestley und 1775 von Scheele dargestellt worden. Am bequemsten stellt man denselben aus chlorsaurem Kali dar; wird dieses bis zum Glühen erhitzt, so giebt sowohl die Chlorsäure, als auch das Kali (Kaliumoxyd) seinen Sauerstoff ab, welcher entweicht, und das zurückbleibende Chlor und Kalium verbinden sich zu Chlorkalium. Man erhitzt das chlorsaure Kali in einer gläsernen Retorte a, Fig. 91, welche von dem Retortenhalter c getragen wird, durch die Flamme einer Spirituslampe mit doppeltem Luftzuge. Mit der Retorte ist ein ebenfalls gläsernes Rohr b, Entbindungsrohr, luftdicht verbunden, welches in ein Gefäß mit Wasser, pneumatische Wanne, taucht. Das Entbindungsrohr reicht mit seiner Mündung unter eine Oeffnung einer in der pneumatischen Wanne angebrachten Brücke, welche über der Oeffnung eine mit Wasser ganz angefüllte, umgekehrt gestellte Flasche trägt. Das aus dem chlorsauren Kali bei der Erhitzung sich entwickelnde Gas gelangt durch die Entbindungsröhre unter die Mündung der umgekehrt gestellten Flasche, während das Wasser derselben in die Wanne abfließt. Das Gas, welches zuerst entweicht, ist jedoch kein reines Sauerstoffgas, sondern mit atmosphärischer Luft vermischt. Man läßt daher erst einige Gasblasen entweichen, ehe man das Gas in Flaschen auffängt. Eine Unze chlorsaures Kali liefert ohngefähr 450 Kubikzoll Sauerstoffgas.

(Fig. 91.)



Die Gasentwickelung findet um Vieles rascher und bei geringerer Hitze statt, wenn man das chlorsaure Kali mit dem gleichen Gewichte Braunstein (Manganoxyd) oder englisch Roth (Eisenoxyd) (mit den Fingern) vermengt. Man muß dann ein weites Entbindungsrohr anwenden und die Wärme nur allmählig steigern, weil sonst durch die rasche Gasentwickelung die Retorte leicht zersprengt werden kann. Der Braunstein oder das englisch Roth bleiben hierbei unzerlegt; man kennt den Grund noch nicht sicher, warum durch die Beimengung derselben die Zersetzung des chlorsauren Kalis beschleunigt wird. — Uebrigens erfordert dieses bei seiner Behandlung insofern einige Vorsicht, als es bei dem Zusammenreiben mit Schwefel, Kohle und andern brennbaren Körpern, so wie auch in der Berührung mit Schwefelsäure, leicht explodirt.

Da die gläserne Retorte, wenn dieselbe nicht aus sehr dünnem Glase besteht, in Folge der ungleichen Erwärmung, wenn dieselbe unmittelbar über der Spiritusflamme angebracht wird, leicht zerspringt, so kann man unter derselben ein Schälchen von dünnem Eisenblech, in welches man etwas Sand (Sandbad) oder noch besser Eisenfeilspäne geschüttet hat, und unter dem Schälchen das Feuer anbringen.

Am wohlfeilsten ist die Darstellung des Sauerstoffs aus Braunstein, welchen man in einer eisernen Retorte (oder in Ermangelung derselben in einem Flintenlaufe) über Kohlenfeuer bis zum starken Rothglühen erhitzt.

Als eine besondere (allotropische) Modification des Sauerstoffs wird das zuerst von Schönbein in Basel entdeckte Ozon angesehen, welches sich von gewöhnlichem Sauerstoffe durch einen eigenthümlichen Geruch und durch eine größere Neigung, sich mit andern Körpern zu verbinden, unterscheidet.

§. 86. Die Verbrennung.

Indem die Körper in der atmosphärischen Luft oder im Sauerstoffgase verbrennen, verbinden sie sich mit diesem und nehmen hierbei an Gewicht zu. So ist z. B. der beim Verbrennen des Eisens im Sauerstoffgase entstandene schwarze und leicht zerreibliche Körper oder auch der beim Glühen des Eisens in der Luft auf demselben entstehende Glühspahn oder Hammerschlag eine Verbindung des Eisens mit Sauerstoff. Das Eisen nimmt hierbei genau so viel an Gewicht zu, als der verzehrte Sauerstoff wiegt.

Daß die Asche, welche Holz oder Kohlen nach dem Verbrennen zurücklassen, weit weniger wiegt, als diese Körper vor dem Verbrennen, kommt daher, daß die Produkte dieser Verbrennung größtentheils gasförmig sind und entweichen.

Brennbar können natürlich nur solche Körper sein, welche wenig oder gar keinen Sauerstoff enthalten und daher noch Sauerstoff aufzunehmen vermögen. Schwefel, Phosphor, Eisen können verbrannt werden, weil sie gar keinen Sauerstoff enthalten; Holz ist brennbar, weil es verhältnißmäßig wenig Sauerstoff, aber viel Kohlenstoff und Wasser enthält. Kieselsteine, Kalksteine u. s. w. können nicht verbrannt werden, denn die in ihnen enthaltenen einfachen Stoffe (vgl. oben, §. 81) sind schon mit Sauerstoff gesättigt, sie sind schon verbrannt.

Damit die Körper, welche noch Sauerstoff aufzunehmen vermögen, wirklich verbrennen, ist jedoch die bloße Anwesenheit des Sauerstoffs nicht ausreichend, sondern auch eine bestimmte Temperatur, bei den meisten Körpern Weißglühhitze erforderlich. Einige Körper, wie z. B. Phosphor, Schwefel, entzünden sich jedoch schon bei viel geringeren Wärmegraden. Die meisten Körper brennen, wenn sie einmal entzündet sind, fort, indem nehmlich die verbrennenden Theile den benachbarten die zur Entzündung erforderliche Hitze mittheilen. Manche brennbare Körper, wie z. B. Graphit, Diamant, entwickeln bei ihrem Verbrennen nicht Wärme genug, um fortzubrennen; sie löschen wieder aus, wenn ihnen nicht die zum Verbrennen erforderliche Wärme anderweitig, z. B. durch einen andern verbrennenden Körper, zugeführt wird. Eisen brennt angezündet im Sauerstoffgase fort, aber nicht in atmosphärischer Luft, weil es in jenem mit größerer Lebhaftigkeit und Wärmeentwickelung brennt.

Brennende Körper können wieder ausgelöscht werden durch Entziehung des Sauerstoffs und durch Abkühlung. So löschen wir gewöhnlich das Feuer durch Wasser aus, welches die brennenden Körper abkühlt, und indem es die Oberfläche derselben bedeckt, den Zutritt der Luft abhält*).

Ein Feuer in einem gänzlich abgesperrten Raume brennt allmählig immer schwächer, indem der Sauerstoffgehalt der Luft sich vermindert, und wenn diese Verminderung einen gewissen Grad erreicht hat, löscht der brennende Körper ganz aus. Umgekehrt wird das Verbrennen durch beständiges Er-

*) Brennendes Oel läßt sich durch Wasser darum nicht auslöschen, weil dieses schwerer ist, als Oel, und daher in demselben zu Boden sinkt, also die Oberfläche desselben nicht bedeckt. Ueberdies besitzt das brennende Oel eine solche Hitze, daß das Wasser in Dämpfe von einer hohen Elasticität verwandelt wird, welche das brennende Oel umherschleudern.

neuern der Luft befördert. Dieß ist der Zweck der Gebläse und der Schornsteine, welche den Luftzug begünstigen.

Die Körper können sich jedoch auch ohne die Erscheinung von Feuer, d. h. ohne bedeutende Licht- und Wärmeentwickelung, mit Sauerstoff verbinden. So besteht das Rosten des Eisens, das Anlaufen des Bleies und Zinks in einer langsamen Vereinigung dieser Metalle mit Sauerstoff, bei welcher wir weder Licht, noch Wärme wahrzunehmen vermögen. Es ist nehmlich die den Verbrennungsprozeß begleitende Entwickelung von Licht und Wärme im Allgemeinen um so größer oder kleiner, je mehr oder weniger Sauerstoff hierbei verzehrt wird, und je rascher oder langsamer dieses geschieht.

Auch das Athmen der Menschen und Thiere kann als ein Verbrennungsprozeß angesehen werden. Der Sauerstoff der eingeathmeten Luft verbindet sich nehmlich mit dem Kohlenstoffe des Blutes zu Kohlensäure, welche ausgeathmet wird (vergl. unten §. 98, b). Die thierische Wärme rührt größtentheils von dieser Verbrennung des Kohlenstoffs her.

Die Verbindung der Körper mit Sauerstoff ist jedoch nicht der einzige chemische Prozeß, welcher mit der Erscheinung von Feuer verbunden ist. Vielmehr geschehen fast alle chemischen Verbindungen von Stoffen, welche eine starke Verwandtschaft zu einander haben, unter Entbindung von Licht und Wärme, (wie wir weiter unten an einigen Beispielen zeigen werden).

Die richtige Erklärung des Verbrennungsprozesses ist zuerst von Lavoisier 1783 gegeben worden. (Er starb 1794, mit chemischen Untersuchungen beschäftigt, unter dem Fallbeile der Schreckensmänner.)

§. 87. Verbindungen des Sauerstoffs.

Der Sauerstoff verbindet sich mit allen bekannten einfachen Stoffen*). Diese Verbindungen heißen Oxyde im weiteren Sinne. Der Prozeß, bei welchem sich ein Körper mit Sauerstoff verbindet, wird Oxydation, das Gegentheil Desoxydation, bei den Metallen gewöhnlich Reduction genannt.

Bei den edlen Metallen reicht die bloße Erhitzung hin, um sie vom Sauerstoffe zu befreien; bei den unedlen ist jedoch zugleich die Vermischung mit einem Körper erforderlich, welcher eine stärkere Verwandtschaft zum Sauerstoff hat. Ein solcher Körper ist z. B. die Kohle, welche man in's Besondere in den Schmelzhütten und Hochöfen mit den oxydirten Erzen vermischt und anzündet, wobei sich der Sauerstoff der Erze mit der Kohle verbindet und das geschmolzene Metall reducirt wird.

Die Verbindungen des Sauerstoffs mit den einfachen Stoffen gehören zum Theil zu den Säuren, zum Theil zu den Basen; zu den ersteren gehören hauptsächlich die Verbindungen der nicht metallischen Stoffe, zu den letzteren die der metallischen Stoffe mit Sauerstoff. Solche Verbindungen, welche weder den Charakter einer Säure, noch einer Base haben, werden neutral genannt. So ist z. B. das Wasser eine neutrale Verbindung des Wasserstoffs mit dem Sauerstoff.

Mit vielen einfachen Stoffen verbindet sich der Sauerstoff in mehrfachen Verhältnissen. So werden wir später vom Schwefel zwei Verbindungen mit Sauerstoff kennen lernen, welche beide den Charakter einer Säure haben. Um

*) Die einzige Ausnahme scheint das bis jetzt für sich noch nicht dargestellte Fluor zu machen, welches man nur in der Verbindung mit anderen Stoffen, z. B. mit Wasserstoff, in der Flußsäure kennt.

diese von einander bequem unterscheiden zu können, nennt man die mit der größeren Menge Sauerstoff: Schwefelsäure, und die mit der kleineren Menge Sauerstoff: schwefelige Säure *). In ähnlicher Art unterscheidet man Phosphorsäure und phosphorische Säure, Salpetersäure und salpeterige Säure. (Die Salpetersäure ist jedoch nicht eine Verbindung des Salpeters, sondern des Stickstoffs mit Sauerstoff. Sie hat den Namen Salpetersäure davon erhalten, daß sie gewöhnlich aus dem Salpeter gewonnen wird.)

Wenn zwei Verbindungen eines metallischen Stoffes mit dem Sauerstoffe Basen sind, d. h. mit den Säuren sich zu Salzen verbinden, so nennt man die mit der größeren Menge Sauerstoff Oxyd, die mit der kleineren Menge Sauerstoff Oxydul. So unterscheidet man z. B. Eisenoxyd und Eisenoxydul, Manganoxyd und Manganoxydul **). — Wenn eine neutrale Verbindung eines Metalles mit Sauerstoff mehr oder weniger Sauerstoff enthält, als das Oxyd, so wird sie im ersten Falle Superoxyd, im letzten Suboxyd genannt. So ist z. B. der oben bei der Darstellung des Sauerstoffs angeführte Braunstein Mangansuperoxyd.

Da die Verbindungen der nicht metallischen Stoffe mit Sauerstoff nicht als Basen angesehen werden, sondern entweder neutral oder Säuren sind, so verbindet man hier mit der Benennung Oxyd oder Oxydul niemals den Begriff einer Base. So sind z. B. unter Stickstoffoxydul und Stickstoffoxyd neutrale Verbindungen des Stickstoffs mit Sauerstoff zu verstehen.

Daß durch den Verbrennungsproceß Basen und Säuren gebildet werden können, haben vorzüglich Becher in Mainz und Stahl in Halle (später in Berlin), 1680—1730 nachgewiesen. Sie erklärten jedoch das Verbrennen eines Körpers nicht als ein Verbundenwerden desselben mit einem andern Stoffe, dem Sauerstoffe, sondern sie nahmen vielmehr irrthümlich an, daß ein in dem brennbaren Körper vorher enthaltener eigenthümlicher Stoff, welchen sie Phlogiston nannten, beim Verbrennen von demselben getrennt werde.

§. 88. Wasserstoff.

Der Wasserstoff (Hydrogenium) findet sich zwar nirgends für sich in der Natur; er ist jedoch in derselben sehr verbreitet, da er mit dem Sauerstoff das Wasser zusammensetzt und einen Hauptbestandtheil aller organischen Körper ausmacht.

Der Wasserstoff ist ein farbloses Gas und hat, rein dargestellt, weder Geschmack, noch Geruch. Er ist der leichteste aller bekannten Körper, im reinen Zustande beinahe fünfzehnmal leichter, als atmosphärische Luft, weshalb er auch zur Füllung der Luftballons (vgl. oben §. 75) gebraucht wird. Er ist zum Athmen untauglich, aber nicht direct schädlich. Eben so vermag er das Verbrennen der Körper nicht zu unterhalten, ist aber selbst brennbar. Er verbrennt mit einer nur schwach leuchtenden, aber doch große Hitze entwickelnden Flamme. Das Product dieser Verbrennung ist Wasser.

Den Wasserstoff lehrte zuerst Cavendish im Jahre 1766 darstellen.

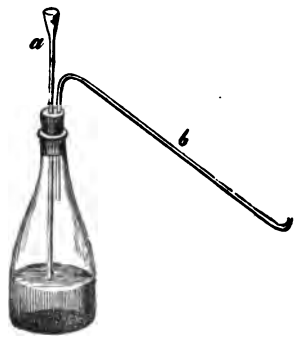
Er wird am reinsten erhalten, wenn man Wasser durch die Volta'sche Säule in seine Bestandtheile, Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt. Um ihn in größeren Mengen darzustellen, übergießt man gewöhnlich Zink mit verdünnter Schwefelsäure, d. h. mit einer Mischung aus Schwefelsäure und Wasser, worauf folgender chemischer Proceß eintritt: Ein Theil des Wassers wird in seine Bestandtheile, Sauerstoff und Wasserstoff, zerlegt; der Sauerstoff verbindet sich mit dem Zink und der Wasserstoff wird frei. Das oxydirte Zink vereinigt sich mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Zinkoxyd oder Zinkvitriol,

*) Außerdem kennt man noch mehrere andere Verbindungen des Schwefels mit Sauerstoff, welche jedoch weniger wichtig sind.

**) Das Oxydul bildet sowohl beim Eisen, als beim Mangan die meisten und am häufigsten vorkommenden Salze.

welches im Wasser aufgelöst bleibt. (Obschon das Zink, als unedles Metall, eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff hat, so vermag es doch für sich allein nicht das Wasser zu zersetzen. Die Anziehung des Zinks zum Sauerstoff wird durch den Hinzutritt der Schwefelsäure, welche ihrerseits eine große Verwandtschaft zum Zink hat, sich aber niemals mit dem reinen, sondern nur mit dem oxydirten Metalle verbinden kann, bedeutend gesteigert, so daß nun der Sauerstoff des Wassers sich vom Wasserstoffe, welcher frei wird, trennt und an das Zink übergeht, welches oxydirt wird und sich mit der Schwefelsäure verbindet.)

(Fig. 92.)



Zur Darstellung des Wasserstoffgases bedient man sich am bequemsten einer Flasche mit einem weiten Halse, Fig. 92, welche durch einen an zwei Stellen durchbohrten Kork verschlossen wird. Durch die eine Bohrung geht eine gläserne Röhre a, welche oben sich trichterförmig erweitert und unten bis nahe an den Boden der Flasche reicht. Durch die andere Bohrung geht das Entbindungsrohr b. Man schüttet nun zuerst fein zertheiltes Zink und etwas Wasser in die Flasche, verschließt dieselbe hierauf durch den Kork und gießt dann allmählig Schwefelsäure durch den Trichter nach.

Früher benutzte man auch das Wasserstoffgas in den electrischen und Platin-Feuerzeugen.

§. 89. Wasser.

Das Wasser besteht dem Volumen nach aus zwei Theilen Wasserstoff und einem Theile Sauerstoff, oder dem Gewichte nach, da der Sauerstoff ohngefähr 16mal schwerer, als Wasserstoff ist, aus 1 Gewichtstheile Wasserstoff und 8 Gewichtstheilen Sauerstoff.

Bald nach der Entdeckung des Sauerstoffs (1774) wurde auch die Zusammensetzung des Wassers, welches bis dahin für einen einfachen Körper gegolten hatte, erkannt.

Ein Gemisch von 1 Volumen Sauerstoff und 2 Volumen Wasserstoff heißt Knallgas. Es kann schon durch den electrischen Funken entzündet werden und verbrennt mit einer heftigen Explosion, wobei Wasser gebildet wird. Das gebildete Wasser erscheint nehmlich in der Gestalt von Dämpfen, welche wegen der beim Verbrennen entwickelten Hitze eine außerordentliche Elasticität haben und einen bedeutend größeren Raum einnehmen, als vorher das Gemenge der beiden Gase.

Man benutzt das Knallgas, um die stärksten Hitzegrade hervorzubringen, indem man es durch eine feine Spitze ausströmen läßt, und dann entzündet. So groß die Hitze ist, welche diese Flamme entwickelt, so schwach ist das Licht derselben. Bringt man aber in dieselbe, wie dies z. B. bei dem sogenannten Hydro-Oxygengas-Mikroscope geschieht, einen kleinen Cylinder von Kalk (Kreide), so wird derselbe glühend und leuchtet mit einem dem Sonnenlichte gleichen Glanze. — In der Flamme des Knallgasgebläses können die am schwersten schmelzbaren Körper, wie Platin, Kalkerde u. a. m., geschmolzen werden.

Das Wasser der Quellen und Flüsse ist nicht chemisch reines Wasser, sondern enthält verschiedene Salze aufgelöst. Man verschafft sich aus diesem reines Wasser durch Destillation. Demnächst ist das reinste Wasser das Regenwasser.

Das Wasser geht mit vielen Körpern chemische Verbindungen ein, welche man im Allgemeinen Hydrate nennt. So ist der natürliche Brauneisenstein ein Hydrat des Eisenoxyds. — Viele Körper, welche im Wasser löslich sind,

nehmen beim Kryſtalliſiren Waſſer auf, welches Kryſtallwaſſer genannt wird und durch Erhitzen wieder ausgetrieben werden kann.

So zerfallen z. B. durchſichtige Glauberſalzkryſtalle in trockener Wärme, indem ſie ihr Kryſtallwaſſer einbüßen, binnen kurzer Zeit zu einem weißen undurchſichtigen Pulver und verlieren ungefähr die Hälfte ihres Gewichtes.

Um das Knallgas gefahrlos verbrennen zu können, wendet man zwei Gaſometer an, von denen der eine nur Sauerſtoff, der andere nur Waſſerſtoff enthält. Aus dieſen werden die Gaſe durch Röhren, welche ſich zu einem engen in eine feine Spitze auslaufenden Röhrchen vereinigen, zuſammengeleitet, ſo daß immer nur geringe Mengen beider Gaſe ſich mit einander vermiſchen. Man benutzt das Knallgasgebläſe unter andern zum Zuſammenſchmelzen der Ränder von Metallplatten.

Das Meerwaſſer iſt beſonders reich an Kochſalz. In einem Pfund bei Havre geſchöpften Meerwaſſer fand Riegel ohngefähr 1 Loth mineraliſcher Beſtandtheile, wovon $^4/_5$ Loth Kochſalz war. — Das Waſſer der Quellen und Brunnen iſt gewöhnlich reich an kohlenſaurer Kalkerde und ſchwefelſaurer Kalkerde (Gyps). Auch bei benachbarten Brunnen iſt jedoch der Gehalt an mineraliſchen Beſtandtheilen oft ſehr verſchieden. In geringerer Menge, als im Quellwaſſer, ſind dieſelben, aus Gründen, welche wir weiter unten (§. 95) kennen lernen werden, im Flußwaſſer enthalten. Beim Verdampfen des Fluß- oder Brunnenwaſſers in den Dampfkeſſeln bleiben die mineraliſchen Beſtandtheile zurück und bilden den ſogenannten Pfannenſtein.

§. 90. Stickſtoff.

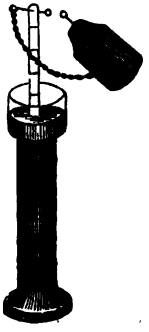
Der Stickſtoff (Azotum, Nitrogenium) findet ſich vorzüglich in der atmoſphäriſchen Luft; auch iſt derſelbe in vielen organiſchen, beſonders thieriſchen Körpern enthalten. Er wird aus der atmoſphäriſchen Luft erhalten, wenn man derſelben durch Verbrennen eines leicht oxydirbaren Körpers, z. B. des Waſſerſtoffs oder des Phosphors, ihren Sauerſtoff entzieht.

Der Stickſtoff beſitzt faſt nur negative Eigenſchaften; er iſt ein farbloſes Gas, ohne Geruch und Geſchmack, ein Weniges leichter, als atmoſphäriſche Luft; er iſt zum Athmen nicht tauglich, aber unſchädlich, und iſt weder ſelbſt brennbar, noch vermag er das Verbrennen zu unterhalten.

§. 91. Atmoſphäriſche Luft.

Die atmoſphäriſche Luft iſt ein Gemenge von 79 Theilen Stickſtoff und 21 Theilen Sauerſtoff dem Volumen nach (oder da der Sauerſtoff ſchwerer, als der Stickſtoff iſt, von 77 Gewichtstheilen Stickſtoff und 23 Gewichtstheilen Sauerſtoff). Außerdem enthält die atmoſphäriſche Luft noch in verſchiedenen Verhältniſſen jederzeit Waſſerdämpfe (ſ. unten §. 244), etwas Kohlenſäure und ein wenig Ammoniak (ohngefähr $^4/_{100}$ Procent Kohlenſäure und $^4/_{1000}$ Procent Ammoniak).

(Fig. 93.)



Um den Sauerſtoffgehalt der Luft zu ermitteln, hat man beſondere Vorrichtungen erfunden, welche man Eudiometer nennt. Wir beſchränken uns hier auf eine ausführliche Beſchreibung von Volta's eudiometriſchem Verfahren, indem uns dieſes zugleich ein leicht verſtändliches Beiſpiel einer chemiſchen Analyſe gewährt.

In eine ſtarke, graduirte Röhre, Fig. 93, welche einerſeits offen, andererſeits verſchloſſen iſt, ſind nahe am verſchloſſenen Ende zwei Drähte luftdicht eingeſenkt, ſo daß ihre Spitzen in der Röhre etwas von einander abſtehen. Die Röhre wird ganz mit Waſſer gefüllt, und nach der Umkehrung in ein hohes, ebenfalls mit Waſſer gefülltes Gefäß getaucht, in ähnlicher Art, wie

wir dies früher beim Torricelli'schen Versuche beschrieben haben. Hierauf läßt man in die graduirte Röhre eine willkührliche Menge atmosphärischer Luft und dann etwas mehr Wasserstoff aufsteigen, als das Doppelte des wahrscheinlich in der eingelassenen atmosphärischen Luft enthaltenen Sauerstoffs beträgt. Wir wollen z. B. annehmen, daß die atmosphärische Luft allein in der graduirten Röhre 100 Raumtheile, das Wasserstoffgas 50 Theile, also das Gemenge beider Gase 150 Theile einnehme. Läßt man nun zwischen den Spitzen der beiden Drähte einen elektrischen Funken überschlagen, (indem man den einen Drath mit der äußeren Belegung einer geladenen electrischen Flasche durch eine metallene Kette verbindet und den andern mit dem Knopfe der Flasche berührt *) so vereinigt sich das in der Mischung vorhandene Sauerstoffgas mit doppelt so viel Wasserstoffgas zu Wasser. Man findet, daß das noch übrig bleibende Gasgemenge jetzt nur noch 87 Raumtheile einnimmt, und daß also 63 Raumtheile sich in Wasser verwandelt haben. Da nun ein Drittel hiervon Sauerstoff ist, so sind folglich in 100 Theilen atmosphärischer Luft 21 Theile Sauerstoff enthalten.

Dieses Verhältniß findet eben so wohl in Thälern, wie auf hohen Bergen, im Freien, wie in mit Menschen angefüllten Zimmern, überhaupt in allen Räumen statt, zu welchen die Luft freien Zutritt hat. Nur solche Räume, zu denen die Luft nicht frei hinzutreten kann, wie z. B. tiefe Keller oder Gruben, in denen sich Kohlensäure, welche bedeutend schwerer ist, als atmosphärische Luft, entwickelt, machen eine Ausnahme.

Wenn in einem Raume, welcher nicht ganz luftdicht verschlossen ist, (was bei unseren Zimmern niemals der Fall ist), die Luft durch das Zusammensein vieler Menschen verdorben wird, so daß das Athmen beschwerlich wird, so rührt dies weniger von einer Verminderung des Sauerstoffgehalts der Luft, als vielmehr von der Beimengung schädlicher Stoffe her, welche sich beim Athmen und der Ausdünstung entwickeln und gewöhnlich in so geringer Menge vorhanden sind, daß die feinste chemische Analyse dieselben nicht nachzuweisen vermag, obschon sie vielleicht lebhaft auf den Geruchssinn, welcher alle chemischen Reagentien **) an Empfindlichkeit weit übertrifft, einwirken.

Daß durch das Athmen der Thiere, durch die häufigen Verbrennungsprocesse u. dgl. m. der Sauerstoffgehalt der atmosphärischen Luft im Allgemeinen nicht vermindert wird, erklärt sich daraus, daß durch den Lebensproceß der Pflanzen die Kohlensäure der atmosphärischen Luft zersetzt wird, indem die Pflanzen sich den Kohlenstoff aneignen und Sauerstoff ausscheiden.

Die atmosphärische Luft ist übrigens als keine eigentliche chemische Verbindung des Sauerstoffs und Stickstoffs, sondern als ein bloßes mechanisches Gemenge beider Gase anzusehen, wie unter Anderem daraus hervorgeht, daß ein künstliches Gemenge von 21 Theilen Sauerstoff und 79 Theilen Stickstoff ganz dieselben Eigenschaften, wie die atmosphärische Luft besitzt.

§. 92. Verbindungen des Stickstoffs.

Der Stickstoff geht sowohl mit dem Sauerstoff, als auch mit dem Wasserstoff Verbindungen ein, und zwar verbindet er sich mit dem ersteren in einem vierfach verschiedenen Verhältnisse. Es geben nehmlich

2 Maaß Stickstoff und 1 Maaß Sauerstoff (2 Maaß) Stickstoffoxydul,
" " " " 2 " " (4 ") Stickstoffoxyd,

*) Noch zweckmäßiger bewirkt man die Vereinigung beider Gase, indem man statt zweier getrennten Drähte einen zusammenhängenden feinen Platindraht in die graduirte Röhre einkittet und denselben durch Verbindung seiner Enden mit den Polen einer galvanischen Batterie zum Glühen bringt.

**) Ein chemisches Reagens heißt ein Stoff, welcher dazu dient, das Vorhandensein eines anderen Stoffes nachzuweisen.

2 Maaß Stickstoff und 3 Maaß Sauerstoff salpeterige Säure,
= = = = 5 = = Salpetersäure.

Unter den Verbindungen des Stickstoffs mit dem Wasserstoff ist das schon oben unter den Alkalien aufgeführte Ammoniak am bekanntesten. 2 Maaß Ammoniakgas sind aus 1 Maaß Stickstoffgas und 3 Maaß Wasserstoffgas zusammengesetzt.

Die Salpetersäure (NO^5*) ist nur im wasserhaltigen Zustande als concentrirte oder verdünnte Säure bekannt. Sie ist eine der stärksten Säuren, aber leicht zersetzbar. Sie zersetzt alle oganischen Stoffe und färbt die Haut bleibend gelb. Sie löst mit Ausnahme des Goldes und Platins fast alle Metalle auf, welche sich auf Kosten eines Theiles der Säure, welcher meist zu Stickstoffoxydgas reducirt wird, oxydiren, während die unzersetzte Säure sich mit den gebildeten Oxyden zu Salzen vereinigt. Da die Salpetersäure das Gold nicht angreift, wohl aber das Silber auflöst, so wird sie häufig angewendet, um das Gold aus seinen Legirungen mit Silber abzuscheiden, weshalb die (unreine) Salpetersäure gewöhnlich Scheidewasser genannt wird.

Auch organische Substanzen werden durch die Salpetersäure oxydirt und zerstört, bei einer nur kurze Zeit anhaltenden Berührung bleibend gelb gefärbt. Man benutzt daher die Salpetersäure zum Gelbbeizen des Holzes, der Gänseschreibfedern u. dgl. m.

Wenn man Baumwolle in eine Mischung von gleichen Gewichtstheilen concentrirter Salpeter- und Schwefelsäure etwa eine Minute lang eintaucht, dann in vielem Wasser auswäscht, bis sie ganz weiß und frei von Säure ist, und vorsichtig trocknet, so erhält man Schießbaumwolle, welche bei der Entzündung vier- bis fünfmal heftiger wirkt, als Schießpulver, diesem aber darin nachsteht, daß sie sich bei Erwärmung oder Stoß leichter entzündet und den Lauf der Geschütze stärker angreift. — Löst man Schießbaumwolle in käuflichem (mit etwas Spiritus vermischtem) Schwefeläther auf, so erhält man eine dickliche Flüssigkeit, welche den Namen Collodium führt. Wenn man hiermit irgend eine Fläche überzieht, so bleibt das Collodium nach Verdunstung des Aethers in Gestalt eines durchsichtigen Häutchens zurück. Man benutzt dasselbe zu Heftpflastern, kleinen Luftballons u. dgl. m.

Das wichtigste der salpetersauren Salze ist das salpetersaure Kali, der Salpeter, welcher in der Hitze Sauerstoff liefert, worauf seine Anwendung im Schießpulver beruht.

Die salpetrige Säure (NO^3) bildet bei der gewöhnlichen Lufttemperatur rothgelbe Dämpfe, welche zum Athmen höchst schädlich sind; sie wird von concentrirter Salpetersäure in großer Menge aufgenommen und bildet mit derselben die so genannte rauchende Salpetersäure, welche an der Luft röthliche Dämpfe ausstößt.

Das Stickstoffoxyd oder Salpetergas (NO^2) ist ein farbloses, zum Athmen äußerst schädliches Gas, welches sich an der Luft in gelbrothe Dämpfe von salpetriger Säure oxydirt.

Das Stickstoffoxydul (NO) ist ebenfalls ein farbloses Gas und hat einen süßlichen Geschmack. Es läßt sich auf kurze Zeit einathmen, erzeugt Heiterkeit und Trunkenheit, welche aber rasch wieder vorübergehen, bei längerem Einathmen jedoch gefährliche Zufälle. Thiere sterben darin am Schlagfluß.

Das Ammoniak (H^3N) hat alle Eigenschaften eines Alkali, stellt die durch Säuren gerötheten blauen Pflanzenfarben wieder her, weshalb man dasselbe auch zum Ausmachen der von Säuren herrührenden rothen Flecke benutzt, und bildet mit den Säuren Salze. Es entwickelt sich vorzüglich bei der Fäulniß thierischer Körper. Von demselben rührt der stechende Geruch her, welchen man in Viehställen oder in der Nähe von Düngerstätten bemerkt. Das Ammoniakgas ist farblos, nicht athembar und wird vom Wasser sehr begierig verschluckt; ein Volumen Wasser kann ohngefähr 666**) Volumen Ammoniakgas aufnehmen, wobei sich die Flüssigkeit stark ausdehnt und ihr Gewicht fast um die Hälfte vermehrt. Das Product dieser Vereinigung wird Ammoniak-Flüssigkeit oder Salmiakgeist genannt.

Das Ammoniak wird gasförmig dargestellt, wenn man Salmiak (salzsaures Ammoniak) und ungelöschten Kalk (Kalkerde) etwa zu gleichen Gewichtstheilen innig mengt, das Gemenge in einem Kölbchen gelinde erwärmt und das sich entbindende Gas über Quecksilber auffängt.

Wenn man Quecksilber mit flüssigem Ammoniak übergießt und in das Quecksilber den negativen, in das Ammoniak den positiven Poldraht einer kräftigen Volta'schen

*) Die Bedeutung der chemischen Zeichen wird weiter unten (§. 93) erklärt werden.
**) Genauer 670.

Säule leitet, so bildet sich am negativen Pole ein festes Amalgam, welches aus Quecksilber und einem für sich nicht darstellbaren, aus 1 Volumen Stickstoff und 4 Volumen Wasserstoff zusammengesetzten Körper besteht, welchen man Ammonium nennt.

§. 93. Chemische Proportionen.

Im vorhergehenden §. haben wir in Betreff der chemischen Verbindungen, die der Stickstoff mit dem Sauerstoff eingeht, eine höchst merkwürdige Gesetzmäßigkeit kennen gelernt. — Ehe wir zur Erklärung dieser Erscheinung übergehen, schicken wir die folgenden Hauptgesetze über chemische Verbindungen, welche die scharfsinnigen Untersuchungen der Chemiker kennen gelehrt haben, voraus:

1) Wenn zwei (einfache oder zusammengesetzte) Körper eine chemische Verbindung mit einander eingehen, so stehen die Gewichtsmengen, nach denen sich dieselben vereinigen, immer in einem bestimmten Verhältnisse zu einander. — So haben wir z. B. oben gesehen, daß 2 Maaß Wasserstoffgas und 1 Maaß Sauerstoffgas, oder dem Gewichte nach 1 Theil Wasserstoffgas und 8 Theile Sauerstoffgas, wenn man durch das Gemenge dieser Gase einen electrischen Funken leitet, sich zu Wasser vereinigen. Nimmt man mehr Wasserstoff oder mehr Sauerstoff, als dem angezeigten Verhältnisse entspricht, so bleibt im ersten Falle unverbundenes Wasserstoffgas, im letztern unverbundenes Sauerstoffgas übrig *).

2) Wenn zwei Stoffe mehrere chemische Verbindungen mit einander eingehen, indem eine gleiche Gewichtsmenge des einen sich mit verschiedenen Gewichtsmengen des anderen verbindet, so stehen diese verschiedenen Gewichtsmengen allemal in einem einfachen Verhältnisse zu einander, welches durch die Zahlen 1, 2, 3, ... 4 ... ausgedrückt werden kann. — So haben wir z. B. oben gesehen, daß sich zwei Maaß Stickstoff mit 1, 2, 3, 5 Maaß Sauerstoff oder dem Gewichte nach 14 Theile Stickstoff mit

	8 Theilen	Sauerstoff zu	Stickstoffoxydul
2 . 8 = 16	"	"	" Stickstoffoxyd
3 . 8 = 24	"	"	" salpetriger Säure
5 . 8 = 40	"	"	" Salpetersäure

verbinden.

Zu diesen beiden merkwürdigen Gesetzen tritt als das wundervollste:

3) Wenn man die Verhältnißzahlen kennt, nach denen sich zwei Stoffe mit der gleichen Gewichtsmenge irgend eines dritten Stoffes verbinden, so geben die nehmlichen Zahlen (entweder unmittelbar, oder nachdem man sie mit einer der Zahlen 1, 2, 3, 4 ... multiplicirt hat) das Verhältniß an, nach welchem sich diese Stoffe mit einander selbst verbinden. — So sind z. B. dem Gewichte nach im Wasser 1 Theil Wasserstoff und 8 Theile Sauerstoff enthalten; das (schwere) Kohlenwasserstoffgas, welches in den sogenannten Gasbeleuchtungsapparaten durch trockne Destillation von Steinkohlen, Harz, Oel u. dgl.

*) Dieses Beispiel wird dadurch nicht unpassend, daß man noch andere Verbindungen zwischen den angeführten Stoffen, das Wasserstoffsuperoxyd, kennt. Es würde sich dann für das obige Gesetz überhaupt kein passendes Beispiel anführen lassen, da man, wenn auch bis jetzt für zwei Stoffe nur eine einzige Verbindung aufgefunden worden ist, deshalb doch niemals behaupten kann, daß dieses für alle Zeiten der Fall sein wird, nicht möglicher Weise noch andere, bis jetzt noch nicht entdeckte Verbindungen existiren können.

(obschon nicht chemisch rein, sondern in Vermischung mit andern Gasen) erzeugt wird, und dem eben so die Flamme unserer Kerzen oder Oellampen vorzüglich ihre Leuchtkraft verdanken, ist dem Gewichte nach aus 1 Theil Wasserstoff und 6 Theilen Kohlenstoff zusammengesetzt. — Die Zahlen 8 und 6 nun, welche uns anzeigen, in welchem Verhältnisse im Wasser und im Kohlenwasserstoffgase der Sauerstoff und Kohlenstoff mit der gleichen Gewichtsmenge Wasserstoff verbunden sind, geben auch zugleich das Verhältniß an, nach welchem diese beiden Stoffe sich mit einander selbst verbinden können. In dem Kohlenoxydgase, einer Luftart, welche sich, wenn Kohlen bei unvollkommenem Luftzuge verbrennen, erzeugt und wegen ihrer großen Schädlichkeit zum Athmen häufige Unglücksfälle veranlaßt, kommen auf je 6 Theile Kohlenstoff genau je 8 Theile Sauerstoff; in der Kohlensäure aber, welche entsteht, wenn Kohle im Sauerstoffgase oder bei hinreichendem Zutritt der atmosphärischen Luft verbrennt, kommen auf je 6 Theile Kohlenstoff je 16, also 2 . 8 Theile Sauerstoff.

Zur Erklärung dieser wundervollen Erscheinungen ist die folgende Hypothese aufgestellt worden: Die Materie ist nicht ohne Ende theilbar; sondern alle Körper bestehen aus letzten, kleinsten Theilen, welche nicht weiter theilbar sind und daher Atome genannt werden.

Die Atome sind zwar unmittelbar noch nicht aufgefunden worden; sie sind, wenn sie wirklich existiren, wegen ihrer Kleinheit für unsere Sinne, für das Auge selbst bei der stärksten Vergrößerung, welche unsere Mikroscope gewähren, nicht wahrnehmbar. Wir haben es also in Hinsicht der Atome zwar nur mit einer Hypothese zu thun, (welche den Namen der atomistischen führt); dieselbe empfiehlt sich aber ganz besonders dadurch, daß sie uns für die oben angeführten Gesetze eine eben so einfache, als anschauliche Erklärung gewährt.

Wenn nehmlich zwei Stoffe sich chemisch verbinden, so kann dies nach der atomistischen Hypothese offenbar nur auf die Art geschehen, daß je 1 Atom des einen sich mit je 1 Atom des andern, oder je 1 Atom des einen sich mit mehreren Atomen des andern, oder mehrere Atome des einen sich mit mehreren Atomen des andern verbinden. — So gehen z. B. nach dieser Ansicht die verschiedenen Verbindungen des Stickstoffs mit dem Sauerstoffe dadurch hervor, daß im Stickstoffoxydul, im Stickstoffoxyd, in der salpetrigen Säure und in der Salpetersäure je 1 Atom Stickstoff mit je 1 Atom, je 2, je 3 und je 5 Atomen Sauerstoff verbunden sind, wonach es sich dann von selbst erklärt, daß bei gleichem Stickstoffgehalt die in diesen Verbindungen befindlichen Sauerstoffmengen sich wie die Zahlen 1, 2, 3 und 5 verhalten.

Nach der Ansicht der (meisten) Chemiker ist das Wasser aus 1 Atom Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff, eben so das (schwere) Kohlenwasserstoffgas aus 1 Atom Wasserstoff und 1 Atom Kohlenstoff zusammengesetzt. Da nun dem Gewichte nach auf 1 Theil Wasserstoff im Wasser 8 Theile Sauerstoff, im Kohlenwasserstoff 6 Theile Kohlenstoff kommen, so muß folglich 1 Atom Sauerstoff 8mal und 1 Atom Kohlenstoff 6mal so schwer, als 1 Atom Wasserstoff sein. Man sieht aus diesen Beispielen, daß, wenn wir auch die Atome selbst nicht wahrzunehmen und ihr absolutes Gewicht nicht anzugeben vermögen, wir doch aus den chemischen Verbindungen derselben auf das Verhältniß ihrer Gewichte zu schließen vermögen.

Weiter ergiebt sich aber auch hieraus höchst einfach die Erklärung des so merkwürdigen dritten Gesetzes. Denn da, wie wir gesehen haben, sich

das Gewicht von 1 Atom Sauerstoff zu dem Gewichte von 1 Atom Kohlenstoff wie 8 zu 6 verhält, und da ferner das Kohlenoxydgas nach der Ansicht der Chemiker aus gleich vielen Atomen Sauerstoff und Kohlenstoff besteht, so müssen auch die Gewichtsmengen des in dieser Verbindung enthaltenen Sauerstoffs und Kohlenstoffs sich wie die angeführten Zahlen 6 und 8 verhalten.

Nachdem in Deutschland schon Wenzel (1777) und Richter (1792) auf die bestimmten Verhältnisse in chemischen Verbindungen hingewiesen hatten, stellte Dalton in England (1804) die atomistische Theorie auf, und Berzelius in Schweden begründete (1824) durch seine Untersuchungen die Lehre von den chemischen Proportionen.

Zu den obigen Gesetzen fügen wir noch das folgende hinzu, welches die Verbindungen zweiter Ordnung betrifft und ebenfalls in sehr einfacher Weise durch die atomistische Ansicht erklärt wird.

4) Wenn zwei zusammengesetzte Körper, z. B. eine Säure und eine Base, welche einen gemeinschaftlichen Bestandtheil, Sauerstoff, enthalten, sich mit einander verbinden, so stehen die Gewichtsmengen des gemeinschaftlichen Bestandtheiles allemal in einem einfachen Verhältnisse zu einander. So besteht z. B. das kohlensaure Bleioxyd (Bleiweiß) aus 1 Atom Kohlensäure und 1 Atom Bleioxyd; die Kohlensäure selbst aber ist aus 1 Atom Kohlenstoff und 2 Atomen Sauerstoff und das Bleioxyd aus 1 Atom Blei und 1 Atom Sauerstoff zusammengesetzt. Hiernach ist klar, daß in dem kohlensauren Bleioxyd der Sauerstoffgehalt der Säure gerade das Doppelte von dem der Base sein muß.

Um die Zusammensetzung eines Körpers kurz anzeigen zu können, hat man eine eigene chemische Zeichensprache eingeführt, indem man zunächst die einfachen Stoffe mit dem Anfangsbuchstaben ihres Namens bezeichnet. So bedeutet z. B. O (Oxygenium) Sauerstoff, H (Hydrogenium) Wasserstoff, P Phosphor u. s. w. Wo aber zwei Elemente denselben Anfangsbuchstaben führen, hat man dem einen noch einen Buchstaben beigefügt; so bezeichnet man z. B. das Eisen mit Fe, um es vom Fluor (F), das Chlor mit Cl, um es vom Kohlenstoff (C) zu unterscheiden.

Die folgende Tabelle enthält die wichtigeren einfachen Stoffe nebst ihren chemischen Zeichen und Atomgewichten, wie dieselben nach den Untersuchungen der Chemiker sich als die wahrscheinlichsten ergeben.

Hierbei ist jedoch nicht, wie in den obigen Beispielen, das Atomgewicht des Wasserstoffs, sondern das des Sauerstoffs, welcher mit den übrigen einfachen Stoffen die meisten Verbindungen eingeht, als Einheit angenommen und für dasselbe, um Brüche möglichst zu vermeiden, die runde Zahl 100 gesetzt, woraus sich denn für den Wasserstoff, dessen Atomgewicht, wie wir oben gesehen haben, achtmal kleiner ist, als das des Sauerstoffs, die Zahl 12,5, für den Kohlenstoff, dessen Atomgewicht sich zu dem des Sauerstoffs wie 6 : 8 verhält, die Zahl 75 ergiebt u. dgl. m.

Name.	Zeichen.	Atomgewicht.	Name.	Zeichen.	Atomgewicht.
Sauerstoff	O	100	Silicium	Si	277
Wasserstoff	H	12,5	Mangan	Mn	345
Kohlenstoff	C	75	Arsenik	As	940
Phosphor	P	400	Antimon	Sb	1613
Schwefel	S	200	Wismuth	Bi	2600
Jod	J	1586	Zink	Zn	407
Brom	Br	1000	Zinn	Sn	735
Chlor	Cl	443	Blei	Pb	1295
Fluor	F	235	Eisen	Fe	350
Stickstoff	N	175	Kobalt	Co	375
Kalium	K	490	Nickel	Ni	363
Natrium	Na	290	Kupfer	Cu	396
Barium	Ba	855	Quecksilber	Hg	1250
Calcium	Ca	250	Silber	Ag	1350
Magnesium	Mg	155	Gold	Au	2458
Aluminium	Al	171	Platin	Pt	1232

In Betreff der zusammengesetzten Körper nimmt man nach der atomistischen Hypothese an, daß die Atome derselben aus den Atomen der verbundenen einfachen Stoffe bestehen,

und daß daher das Gewicht des Atomes eines zusammengesetzten Körpers gleich ist der Summe der Gewichte der Atome, welche sich in der chemischen Verbindung zu einem Atome vereinigt haben; so setzt man z. B. das Atomgewicht des Wassers, welches aus 1 Atom Wasserstoff (= 12,5) und 1 Atom Sauerstoff (= 100) besteht, = 112,5.

Man drückt die zusammengesetzten Körper in der Art aus, daß man die Zeichen ihrer Bestandtheile unmittelbar hinter einander schreibt oder durch das Zeichen (+) verbindet. So bezeichnet man z. B. das Kohlenoxydgas, welches aus 1 Atom Kohlenstoff und 1 Atom Sauerstoff besteht, durch C + O oder CO. Enthält eine Verbindung mehrere Atome desselben Stoffes, so schreibt man die Zahl dieser Atome dem chemischen Zeichen des Stoffes als Exponenten bei; so wird z. B. die Kohlensäure, welche aus 1 Atom Kohlenstoff und 2 Atomen Sauerstoff zusammengesetzt ist, durch CO^2 ausgedrückt.

Obschon die atomistische Ansicht auf der Voraussetzung untheilbarer Atome beruht, welche sich wohl niemals auf dem Wege der Erfahrung unmittelbar werden nachweisen lassen, so kann man sich, auch wenn man das wirkliche Vorhandensein der die Materie zusammensetzenden Atome bezweifeln sollte, doch dieser Hypothese als eines sehr bequemen Mittels zur Verdeutlichung und Veranschaulichung der Gesetze über die chemischen Verbindungen der einfachen und zusammengesetzten Stoffe bedienen.

Man kann die atomistische Sprache gebrauchen, ohne deshalb dieser Ansicht selbst beizutreten. Wenn man z. B. sagt: die Salpetersäure besteht aus 1 Atom Stickstoff und 5 Atomen Sauerstoff und das Atomgewicht des Stickstoffs ist gleich 175, das des Sauerstoffs gleich 100, so ist hiermit im Wesentlichen nichts Anderes gesagt, als: die Salpetersäure ist aus Stickstoff und Sauerstoff so zusammengesetzt, daß auf je 175 Gewichtstheile Stickstoff je 5mal 100 = 500 Gewichtstheile Sauerstoff kommen.

Uebrigens stimmen die Ansichten der Chemiker über die Atomgewichte keineswegs bei allen Stoffen überein. So besteht z. B. nach Berzelius das Wasser aus 1 Atom Sauerstoff und 2 Atomen Wasserstoff, während viele namhafte Chemiker dasselbe als aus 1 Atom Sauerstoff und 1 Atom Wasserstoff bestehend ansehen. Es ist klar, daß die nach der ersteren Ansicht für das Atomgewicht des Wasserstoffs zu setzende Zahl nur halb so groß sein kann, als die Zahl, welche zu Folge der letzteren Ansicht dem Wasserstoff zukommt. Aehnliches gilt von mehreren anderen Stoffen. Die Entscheidung hierüber unterliegt nicht geringen Schwierigkeiten und läßt sich nicht mit Gewißheit durch bestimmte Versuche, sondern nur mit mehr oder weniger Wahrscheinlichkeit auf dem Wege der Analogie, durch Vergleichung ähnlicher Verbindungen mit einander, erhalten, weshalb wir auf diesen schwierigen Gegenstand hier nicht weiter eingehen.

Die Verschiedenheit in den theoretischen Ansichten hat jedoch auf die Ergebnisse im Praktischen keinen Einfluß. So ergiebt sich z. B. für das Wasser das nehmliche Gewichtsverhältniß seiner beiden Bestandtheile, wenn man sich dasselbe aus 1 Atom Sauerstoff und 1 Atom Wasserstoff von dem Gewicht 12,5 oder aus 1 Atom Sauerstoff und 2 Atomen Wasserstoff zusammengesetzt denkt und im letzteren Falle das Atomgewicht des Wasserstoffs halb so groß (gleich 6,25) annimmt.

Da man die Lehre von der chemischen Zusammensetzung der Körper Stöchiometrie (von στοιχεῖον Grundstoff) nennt, so sagt man statt Atomgewicht auch stöchiometrische Zahl, ferner auch chemisches Aequivalent, Mischungsgewicht u. dgl.

§. 94. Kohlenstoff.

Der Kohlenstoff (Carbonium) ist nicht bloß ein Hauptbestandtheil aller organischen Körper, sondern auch in der anorganischen Natur sehr verbreitet, besonders in Verbindung mit Sauerstoff, als Kohlensäure. Er findet sich jedoch rein nur im Diamanten, demnächst im Graphit (Reißblei), welchem aber immer etwas Eisenoxyd und Kieselsäure beigemengt sind. In der Steinkohle und im Holze ist der Kohlenstoff mit Sauerstoff und Wasserstoff, in den meisten thierischen und vielen Pflanzenkörpern außerdem noch mit Stickstoff verbunden. Auch enthalten diese Körper in geringen Mengen noch verschiedene andere, besonders erdige Stoffe, welche beim Verbrennen derselben als Asche zurückbleiben. (100 Pfund Holz geben ohngefähr 1 Pfund Asche.)

Der Kohlenstoff besitzt die merkwürdige Eigenschaft, daß er sich uns in drei verschiedenen Zuständen darstellen kann. Im Diamanten zeigt sich uns derselbe durchsichtig und in regelmäßiger Krystallform, im Graphit kommt der

Kohlenstoff undurchsichtig, metallisch glänzend und schuppig krystallisirt vor, in den verschiedenen Kohlenarten ist derselbe schwarz, undurchsichtig und amorph, (ohne bestimmte Gestalt). Man nennt diese Eigenschaft, welche auch noch andere einfache und zusammengesetzte Körper besitzen, daß sie in verschiedenen Zuständen ein verschiedenes Verhalten zeigen, Allotropie.

Wenn man Holz oder Steinkohlen in verschlossenen Räumen erhitzt, so entweichen die gasförmigen Bestandtheile, Sauerstoff und Wasserstoff, und es bleibt eine ziemlich reine Kohle zurück. — Die ausgeglühten Steinkohlen führen den Namen Kohks.

Die Kohle besitzt eine ausgezeichnete Verwandtschaft zum Sauerstoff und übertrifft hierin, besonders bei erhöhter Temperatur, alle anderen Körper. Man wendet daher dieselbe häufig an, um andere Körper aus ihren Verbindungen mit Sauerstoff rein darzustellen, z. B. zur Reduction der Metalle, zur Darstellung des Kaliums, des Phosphors u. s. w.

Die dichteren Kohlen lassen sich jedoch nur schwer verbrennen, z. B. die Kohks nur bei starkem Luftzuge. Der Diamant brennt im Sauerstoffgase fort, in atmosphärischer Luft nur dann, wenn ihm anderweitig eine große Hitze zugeführt wird. So verbrannte man zuerst im Jahre 1694 Diamanten zu Florenz mit Hilfe großer Brennspiegel. — Die poröse Kohle dagegen, welche man aus Pflanzenkörpern darstellt, entzündet sich äußerst leicht, wie dieß der früher übliche Gebrauch derselben als Zunder in den Feuerzeugen deutlich zeigt. Eben so beruht auf dieser Eigenschaft der Kohle die leichte Entzündlichkeit des Schießpulvers.

Das Schießpulver ist ein inniges Gemenge von ohngefähr 6 Theilen Salpeter, 1 Theil Schwefel und 1 Theil Kohle. Beim Verbrennen des Pulvers wird der Salpeter (salpetersaures Kali) bis auf einen kleinen Rückstand zerlegt, schwefelsaures, unterschwefeligsaures und kohlensaures Kali, Schwefelkalium u. s. w. gebildet, welche den festen Rückstand bilden, und außerdem freie gasförmige Kohlensäure, Kohlenoxydgas, Stickstoffgas u. s. w. entbunden. Die entwickelten Gase würden schon bei Null Grad einen mehrere hundertmal größeren Raum, als die festen Bestandtheile einzunehmen streben; durch die beim Verbrennen entwickelte Hitze wird jedoch ihre Expansivkraft noch außerordentlich gesteigert und daher die Kugel des Geschützes mit ungeheurer Gewalt fortgetrieben.

Die aus Pflanzen oder thierischen Stoffen frisch bereitete Kohle besitzt die Eigenschaft, in ihren Poren Gase zu absorbiren und zu verdichten, wie wir dies bereits oben in §. 77 gesehen haben. Dieselbe besitzt ferner die ausgezeichnete Eigenschaft, aus Flüssigkeiten Farbestoffe, brenzliches Oel, riechende Stoffe und andere Substanzen einzusaugen. Diese Eigenschaft kommt der thierischen Kohle in noch höherem Grade zu, als der Pflanzenkohle. Man benutzt daher vorzüglich die aus Knochen oder Blut bereitete Kohle zur Reinigung und Entfärbung des Zuckers, zur Reinigung des Essigs, des Branntweins u. dgl. m. Da die Kohle gegen Fäulniß schützt, so pflegt man die Pfähle, welche man in die Erde schlägt, vorher zu verkohlen. Eben so werden die Fässer, in welchen man das Wasser auf Seereisen mitnimmt, inwendig verkohlt. Faules Wasser wird gereinigt, indem man es durch fein pulverisirte Kohle filtrirt; man wendet dieselbe ferner sehr zweckmäßig zum Reinigen der Zähne an u. dgl. m.

Der Kohlenstoff macht den Hauptbestandtheil unserer Brennmaterialien, des Holzes, Torfes, der Braun- und Steinkohlen, aus. Je größer der Gehalt derselben an Kohlenstoff ist, um so größer ist auch die von denselben beim Verbrennen entwickelte Hitze. Das Holz besteht, auch wenn es trocken ist, nur zur kleineren Hälfte aus Kohlenstoff, zur größeren Hälfte aus Wasserstoff und Sauerstoff, welche ohngefähr in demselben gegenseitigen Verhältnisse, wie im Wasser, vorhanden sind. Außerdem enthält dasselbe noch einen geringen Theil mineralischer Stoffe. Da die durch das Verbrennen entwickelte Wärme eine Folge der Vereinigung der sauerstofffreien Theile mit Sauerstoff ist, so ist klar, daß die bereits bis zu Sättigung mit Sauerstoff verbundenen Theile hierzu Nichts beitragen können, und daß folglich ein Körper beim Verbrennen im

Allgemeinen um so weniger Wärme liefern wird, je größer sein Gehalt an Sauerstoff ist. Steinkohlen liefern daher eine größere Hitze, als Holz, weil sie verhältnißmäßig mehr Kohlenstoff und weniger Sauerstoff enthalten. Eben so beruht der Nutzen der Verkohlung des Holzes auf der Austreibung des Sauerstoffs. Eine bestimmte Menge Holz muß theils deßhalb weniger Wärme liefern, als eine gleiche Menge Holzkohlen, weil das Holz nur zur kleineren Hälfte aus Kohlenstoff besteht, theils deßhalb, weil ein großer Theil der beim Verbrennen des Holzes entwickelten Wärme zur Verdampfung des bereits vorhandenen oder sich bildenden Wassers verwandt wird. — Aus gleichen Gründen geben geglühte Steinkohlen, Koks, eine größere Hitze als gewöhnliche Steinkohlen.

Im Mittel und in runder Zahl enthalten nach Abzug der Asche

	trocknes Holz*)	Torf	Braunkohlen	Steinkohlen
Kohlenstoff . . .	50 Procent	60 Procent	70 Procent	80 Procent
Wasserstoff . . .	6 „	6 „	6 „	6 „
Sauerstoff . . .	44 „	34 „	24 „	14 „

Die verschiedenen Holzarten, Eichen-, Buchen-, Tannen-, Fichtenholz u. dgl. m., weichen in ihrer chemischen Zusammensetzung nur wenig von einander ab. Die größere Heizkraft des harten Holzes beruht hauptsächlich auf dem größeren specifischen Gewichte, zu Folge dessen eine Klafter des schwereren harten Holzes natürlich mehr Brennstoff enthalten muß, als eine Klafter des leichteren weichen Holzes.— Bei den verschiedenen Braunkohlenarten wechselt der Gehalt an Kohlenstoff zwischen 65 und 75 Procent, bei den Steinkohlen zwischen 75 und 90 Procent; der Gehalt an Wasserstoff wechselt bei diesen zwischen 3 und 6 Procent.

§. 95. Verbindungen des Kohlenstoffs mit Sauerstoff.

Der Kohlenstoff verbindet sich in mehrfachen Verhältnissen mit dem Sauerstoff; die wichtigste dieser Verbindungen ist die Kohlensäure, welche wir für gewöhnlich im gasförmigen Zustande kennen.

Die Kohlensäure (CO^2) ist in der Natur sehr verbreitet; sie ist nächst dem Sauerstoff und Stickstoff das in der Natur am meisten verbreitete Gas; sie findet sich jederzeit, jedoch in geringer Menge (vergl. oben §. 91), in der atmosphärischen Luft. An einigen Stellen, z. B. in der Dunsthöhle bei Pyrmont, am Laacher See, in der Hundsgrotte bei Neapel und an vielen anderen Orten, besonders in vulkanischen Gegenden, strömt dieselbe beständig aus der Erde hervor; sie findet sich ferner im Wasser der Quellen; diejenigen, welche dieselbe in großer Menge enthalten, wie z. B. das Selterser Wasser, führen den Namen Sauerbrunnen.

Endlich findet sich auch die Kohlensäure häufig in der Natur an Basen, ins Besondere an Kalkerde gebunden; der Kalkspath, der Marmor, die Kreide, der gemeine Kalkstein bestehen aus kohlensaurer Kalkerde. Das kohlensaure Kali und Natron machen den Hauptbestandtheil der Pottasche und der Soda aus u. dgl. m. Aus der Verbindung mit Kalkerde läßt sich die Kohlensäure durch Erhitzen austreiben, wie dies z. B. beim Brennen der Kalksteine in den Kalköfen geschieht. (Der gebrannte Kalk ist von Kohlensäure befreit, jedoch meist durch fremdartige Beimischungen, namentlich Kieselsäure und Thonerde, verunreinigte Kalkerde, welche beim längern Liegen an der Luft aus dieser wieder Kohlensäure aufnimmt, zu der sie eine große Verwandtschaft hat.)

Die Kohlensäure entwickelt sich ferner beim Verbrennen kohlenstoffhaltiger Körper, des Diamants, des Graphits, der Steinkohle, des Holzes u. s. w., beim Athmungsprocesse der Thiere, bei der Fäulniß organischer Körper, beim Gährungsprocesse des Weines, des Bieres u. dgl. m.

*) Diese Verhältnißzahlen betreffen ganz wasserfreies (bei 150° ausgetrocknetes) Holz. Gewöhnliches lufttrocknes Holz enthält gegen 20 Procent wirkliches Wasser. Die Asche beträgt selten mehr als ein Procent des verbrannten Holzes.

Da die Kohlensäure nur eine schwache Säure ist und daher durch andere Säuren aus ihren Verbindungen mit den Basen leicht vertrieben werden kann, so stellt man dieselbe am leichtesten dar, indem man pulverisirte Kreide mit einer stärkeren Säure, z. B. mit verdünnter Salpetersäure übergießt*).

Das kohlensaure Gas ist farblos, riecht säuerlich, röthet angefeuchtetes Lackmuspapier, ist $1^1/_2$mal so schwer, als atmosphärische Luft, vermag das Verbrennen der Körper nicht zu unterhalten und ist selbst nicht brennbar. Da die Kohlensäure schwerer ist, als atmosphärische Luft, so kann man dieselbe aus einem Glase in ein anderes schütten; eben so kann man ein Licht auslöschen, wenn man ein Glas mit Kohlensäure darüber ausschüttet. Die Kohlensäure ist zum Athmen schädlich, erregt Schwindel und Betäubung und wirkt rein eingeathmet tödtlich, daher die häufigen Erstickungen von Menschen in Kellern, in denen Bier, Wein oder Branntwein gährt, so wie in Gruben oder Brunnen, in denen sich Kohlensäure angesammelt hat. Selbst wenn der Luft nur 1 bis 2 Procent Kohlensäure beigemischt sind, können durch mehrstündiges Einathmen bedenkliche Zufälle hervorgerufen werden.

Da die Kalkerde im Wasser in geringer Menge löslich ist, während die kohlensaure Kalkerde im (bloßen) Wasser ganz unlöslich ist, so bietet Kalkwasser (Wasser, welches Kalkerde aufgelöst enthält,) ein sehr geeignetes Mittel dar, um das kohlensaure Gas von andern Gasen zu unterscheiden. Leitet man nehmlich dasselbe in Kalkwasser, so entsteht in diesem eine Trübung, weil sich die Kohlensäure mit der Kalkerde verbindet und der entstandene kohlensaure Kalk im Wasser unlöslich ist.

Das kohlensaure Gas wird bei einem Drucke von 40 Atmosphären flüssig und kann sogar bei einem hohen Grade künstlicher Kälte (57°C.) als ein fester Körper dargestellt werden.

Vom Wasser wird die Kohlensäure in dem Verhältnisse absorbirt, daß ein Maaß Wasser ein Maaß Kohlensäure aufnimmt. Das Kohlensäure haltige Wasser hat einen säuerlichen Geschmack, röthet Lackmuspapier und besitzt die Eigenschaft, mehrere im reinen Wasser unlösliche Salze, namentlich kohlensauren Kalk, aufzulösen.

Eine zweite Verbindung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoffe ist das Kohlenoxydgas (CO), welches nur halb so viel Sauerstoff, als die Kohlensäure enthält. Es ist farb- und geruchlos, zum Athmen sehr schädlich und vermag auch das Verbrennen der Körper nicht zu unterhalten; es läßt sich anzünden, verbrennt mit einer blauen Flamme, indem es sich zu Kohlensäure oxydirt, und entwickelt sich häufig beim Verbrennen der Kohlen, besonders bei unvollkommenem Luftzuge; die bläulichen Flammen über den Kohlen rühren von demselben her.

Indem das Regenwasser durch die obersten Erdschichten hindurchsickert, nimmt es Kohlensäure auf, welche sich bei der Verwesung der in diesen Schichten enthaltenen organischen Stoffe entwickelt. Es enthält daher fast alles Brunnen- und Quellwasser etwas Kohlensäure und verschiedene Salze, besonders kohlensauren Kalk, welches sich in den meisten Gebirgsschichten findet, aufgelöst. Beim Kochen dieses Wassers entweicht jedoch die Kohlensäure, und der kohlensaure Kalk (und andere im reinen Wasser unlösliche Salze) schlagen sich in Folge hiervon nieder, wodurch der sogenannte Pfannenstein entsteht. Im Flußwasser finden sich nur geringe Mengen von Kohlensäure und kohlensaurem Kalke, indem die Kohlensäure während des Fließens des Wassers sich verflüchtigt und der kohlensaure Kalk ausgeschieden wird. Manche Quellen, welche aus

*) Man bedient sich hierbei sehr bequem des in Fig. 92, S. 118, abgebildeten Apparates.

Kalkgebirgen kommen, setzen da, wo sie zu Tage ausfließen, Kalktheile in großer Menge ab, wodurch die so genannten Tuffsteine entstehen. — Man nennt das Flußwasser und das Regenwasser *weiches Wasser*, weil sich die Seife in demselben ohne Trübung auflöst; im Brunnenwasser dagegen wird die Seife durch den kohlensauren Kalk zersetzt, und es bilden sich weiße Flocken; man nennt dieses Wasser *hartes Wasser*.

Zur Erläuterung des *Gährungsprocesses* führen wir Folgendes an: Wenn man 1 Loth (Rohr-) Zucker in $^1/_8$ Quart Wasser auflöst, der Auflösung etwas Hefe zusetzt und dieselbe an einen mäßig warmen Ort (im Winter in die Nähe des geheizten Ofens) stellt, so kommt die Mischung sehr bald in Gährung. Der Rohrzucker verwandelt sich hierbei zunächst durch Aufnahme von etwas Wasser in Trauben- oder Krümelzucker, welcher aus gleich vielen Atomen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff besteht; der Krümelzucker aber, (in welchem auf je 3 Atome Wasserstoff je 3 Atome Kohlenstoff und je 3 Atome Sauerstoff kommen), wird in Spiritus, in welchem je 3 Atome Wasserstoff mit je 2 Atomen Kohlenstoff und je 1 Atom Sauerstoff verbunden sind, und in Kohlensäure, welche aus 1 Atom Kohlenstoff und 2 Atomen Sauerstoff besteht, zerlegt. Der Spiritus giebt sich in der Flüssigkeit leicht durch den Geschmack zu erkennen, die Kohlensäure aber, da sie gasförmig ist, entweicht und läßt sich in der bekannten Weise auffangen und auf die oben im Haupttexte angegebene Art nachweisen.

(Fig. 94.)

Ganz Aehnliches findet vom Gährungsprocesse des Weines, Branntweines und Bieres statt, nur daß bei den letzten Getränken erst das Stärkemehl, welches in den zur Bereitung derselben angewandten Materialien, Gerste, Korn, Kartoffeln u. dgl. enthalten ist, ganz oder theilweise in Krümelzucker umgewandelt wird. Ueberhaupt beruht die Darstellung aller geistigen Getränke auf dem Gährungsprocesse, der Zerlegung des Zuckers in Spiritus und Kohlensäure. Aller Spiritus wird aus Zucker gewonnen.

Zur Einleitung des Gährungsprocesses dient der Zusatz eines *Ferments*, d. h. eines in Zersetzung begriffenen organischen Körpers, welcher hierbei gleichsam ansteckend wirkt, in den mit ihm in Berührung kommenden organischen Substanzen ebenfalls die Zersetzung hervorruft. — Ein besonders kräftiges Ferment ist die *Hefe*, eine noch nicht mit voller Genauigkeit erforschte stickstoffhaltige Substanz, welche sich besonders reichlich beim Gährungsprocesse des Bieres erzeugt, und wie alle stickstoffhaltigen organischen Substanzen sehr geeignet ist, sich zu zersetzen.

Auch beim *Backen* des Brodes wird zuerst in dem Teige durch Zusatz von Hefe oder Sauerteig, (in Gährung begriffenem Teige, in welchem außer Hefe auch bereits gebildete Essigsäure vorhanden ist,) der Gährungsproceß eingeleitet, dann aber durch die Hitze des Backofens unterbrochen. Die während des Gährungsprocesses sich entwickelnde Kohlensäure bewirkt die Auflockerung des Teiges, wozu während des Backens auch die sich bildenden Spiritus- und Wasserdämpfe beitragen.

Die vorher beschriebene *geistige Gährung* geht bei angemessener Temperatur leicht in die *saure Gährung* über, bei welcher sich der Spiritus durch Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft zu Essigsäure und Wasser oxydirt.

§. 96. Verbindungen des Kohlenstoffs mit Wasserstoff.

Der Kohlenstoff geht mit dem Wasserstoff sehr zahlreiche Verbindungen ein, von denen die meisten der organischen Natur angehören. Wir führen hier nur die beiden folgenden an.

Das *leichte Kohlenwasserstoffgas* oder *Grubengas*, Kohlenwasserstoff mit der geringeren Menge Kohlenstoff (H^2C), erzeugt sich häufig in Kohlenbergwerken, in Wässern, in denen organische Substanzen faulen,

in Moräſten und Sümpfen, und ſtrömt an einigen Orten, wo ſich Steinkohlenlager finden, z. B. bei Rheine an der Ems, in großer Menge aus der Erde hervor. Es iſt ohngefähr halb ſo ſchwer, als atmoſphäriſche Luft, zum Athmen untauglich und verbrennt mit einer gelblichen, ſchwach leuchtenden Flamme. Mit atmoſphäriſcher Luft und beſonders mit Sauerſtoff vermiſcht und entzündet, verbrennt es mit heftiger Exploſion. Auf dieſe Art entſtehen die ſo genannten ſchlagenden Wetter in Steinkohlengruben, welche, durch die Lampen der Arbeiter entzündet, häufige und ſchreckliche Unglücksfälle veranlaſſen. Zum Schutze dient die Davy'ſche Sicherheitslampe, bei welcher ſich die Flamme innerhalb eines länglichen Cylinders befindet, der aus einem feinen, aber engen Drahtgewebe beſteht und die Entzündung des außerhalb des Drahtcylinders befindlichen Grubengaſes durch die Flamme der Lampe verhindert.

Das ſchwere Kohlenwaſſerſtoffgas (HC), welches doppelt ſo viel Kohlenſtoff, als das Grubengas enthält, iſt wenig leichter, als atmoſphäriſche Luft, hat einen unangenehmen Geruch und verbrennt mit einer helleuchtenden Flamme.

Wenn man Steinkohlen oder Holz in einem Kölbchen erhitzt, ſo entweichen die gasförmigen Beſtandtheile Waſſerſtoff und Sauerſtoff (in Verbindung mit etwas Kohlenſtoff) in Form von Dämpfen und Gaſen, welche letztere ſich auf bekannte Weiſe auffangen laſſen. Man erhält ſo ein Gemenge von mehreren Gaſen, (von Kohlenſäure, Kohlenoxydgas, Waſſerſtoff, von leichtem und ſchwerem Kohlenwaſſerſtoff u. a. m.) welches ſich anzünden läßt und mit einer um ſo heller leuchtenden Flamme verbrennt, je mehr von ſchwerem Kohlenwaſſerſtoffgaſe darin enthalten iſt, während die zurückgebliebene Holz- oder Steinkohle, (wenn ſie ſtark ausgeglüht iſt,) nun ohne Flamme verbrennt.

Was wir hier im Kleinen ausgeführt haben, findet im Weſentlichen im Großen bei der Gasbeleuchtung ſtatt. Der größere oder geringere Gehalt an ſchwerem Kohlenwaſſerſtoff iſt es vorzüglich, welcher die Leuchtkraft der Gasflamme bedingt.

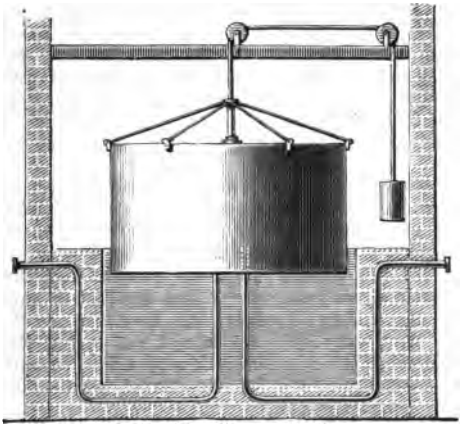
Auch unſere Talg- oder Wachskerzen und Oellampen ſind Gasbeleuchtungsapparate. So wie das in den Dochten aufſteigende Oel, der geſchmolzene Talg oder das Wachs in den inneren Raum der Flamme kommt, wird daſſelbe durch die hier ſtattfindende Glühhitze zerſetzt und gasförmige Verbindungen von Kohlenſtoff und Waſſerſtoff werden gebildet, welche den inneren Raum der Flamme erfüllen und an ihrer äußeren Oberfläche, da, wo ſie ſich mit der atmoſphäriſchen Luft vermiſchen, verbrennen. Nur bei den Lampen mit doppeltem Luftzuge findet auch ein Verbrennen innerhalb der Flamme ſtatt.

Man bereitet das zur Beleuchtung beſtimmte Gas, indem man Steinkohlen (oder Holz) in gußeiſernen Retorten erhitzt oder Oel oder geſchmolzenes Harz in glühende gußeiſerne Cylinder tropfen läßt, in welchen das Oel oder Harz zerſetzt wird. Man erhält hierdurch ein Gemenge mehrerer Gaſe, beſonders von ſchwerem und leichtem Kohlenwaſſerſtoff, Kohlenſäure, Kohlenoxydgaſe u. a. m., überdies mit verſchiedenen dampfförmigen Producten vermiſcht. Man leitet dieſe gas- und dampfartigen Producte zunächſt in Kühlgefäße, in welchen ſich die durch die Hitze verflüchtigten, bei der gewöhnlichen Temperatur aber flüſſigen Subſtanzen, ins Beſondere Waſſer und Theer abſetzen, dann in Gefäße mit Kalkbrei, welcher das kohlenſaure Gas aufnimmt, und hierauf das gereinigte Gas in einen großen Gasbehälter, den Gaſometer, aus welchem das Gas durch beſondere Röhren in die zu erleuchtenden Räume fortgeführt wird. Die Leuchtkraft der Gasflamme iſt um ſo größer, je mehr ſchweres Kohlenwaſſerſtoffgas dieſelbe enthält.

Der Gaſometer (Fig. 95), wie er bei der Gasbeleuchtung angewendet wird, beſteht aus einem großen, oben verſchloſſenen, unten offenen Cylinder von Blech, welcher

mit seinem unteren Rande in ein Behälter mit Wasser taucht. In denselben münden zwei durch Hähne verschließbare Röhren. Die eine dieser Röhren dient zur Zuleitung des bereiteten Gases, die andere zur Fortleitung desselben nach den Räumen, welche erleuchtet werden sollen. Bei dem Einströmen des Gases ist die erstere Röhre geöffnet, die andere geschlossen; bei der Fortleitung findet das Umgekehrte statt. Durch ein Gewicht wird der Druck, welchen das Gas in dem Gasometer durch die Schwere desselben erleidet, regulirt.

(Fig. 95.)



Das schwere Kohlenwasserstoffgas wird rein dargestellt, wenn man 1 Vol. Spiritus mit 3 Vol. concentrirter Schwefelsäure (vorsichtig) mischt, und die Mischung, nachdem man derselben, um das Aufschäumen zu verhüten, Sand zugesetzt hat, in einem Kölbchen mäßig erwärmt. — Die Schwefelsäure, welche eine große Anziehung zum Wasser hat, entzieht hierbei dem Spiritus, welcher, wie schon oben bemerkt, aus 3 Atomen Wasserstoff, 2 Atomen Kohlenstoff und 1 Atom Sauerstoff besteht, 1 Atom Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff, welche zu Wasser verbunden sich mit der Schwefelsäure vereinigen; die übrigen 2 Atome Wasserstoff und 2 Atome Kohlenstoff aber verbinden sich mit einander zu schwerem Kohlenwasserstoffgase, welches entweicht und sich in der bekannten Weise auffangen läßt. Angezündet verbrennt dasselbe mit einer Flamme, deren Lichtstärke die der gewöhnlichen Gasflammen weit übertrifft.

(Fig. 96.)

Man unterscheidet an der Flamme unserer gewöhnlichen Lampen oder Kerzen drei Theile; erstens den innersten Theil a, Fig. 96, welcher aus den dampf- und gasförmigen Zersetzungsproducten des Leuchtmaterials besteht; dieser wird von dem helleuchtenden Theile b eingehüllt, in welchem wegen unvollkommenen Zutritts des Sauerstoffs der Luft vorzüglich nur der Wasserstoff verbrennt und der ausgeschiedene, sehr fein zertheilte Kohlenstoff sich in einem glühenden Zustande befindet; endlich bemerkt man noch als äußerste Hülle der Flamme den schwach leuchtenden Theil c, in welchem der ausgeschiedene Kohlenstoff mit dem Sauerstoffe der Luft in unmittelbare Berührung tritt und zu Kohlensäure verbrennt. Das Leuchtvermögen der Flamme beruht also hauptsächlich auf dem Erglühen des festen Kohlenstoffes, indem der gasförmige Wasserstoff bei seinem Verbrennen nur ein sehr schwaches Licht entwickelt.

Der Rauch, welcher sich beim Verbrennen des Oeles in den gewöhnlichen Lampen, beim Verbrennen des Holzes und der Steinkohlen u. s. w. erzeugt, entsteht dadurch, daß nicht alle Kohle vollständig verbrennt und die unverbrannte Kohle in einem fein zertheilten Zustande von der emporsteigenden heißen Luft mechanisch mit fortgeführt wird. Je weniger die Luft freien Zutritt hat, um so unvollständiger wird die Kohle verbrannt und um so stärker ist der Rauch, welcher dagegen bei verstärktem Luftzuge sich vermindert. Indem die unverbrannte Kohle an die Wände fester Körper, z. B. der Schornsteine, sich ablagert, entsteht der Ruß.

Wir blasen ein brennendes Licht aus, indem wir die Flamme von dem Docht, aus welchem dieselbe ihre Nahrung erhält, durch einen Luftstrom entfernen. Der noch fortglimmende Docht entwickelt in der Regel nicht Wärme genug, um die sich noch weiter aus dem geschmolzenen Talg oder Wachs entbindenden Gase oder Dämpfe zu entzünden. Wir vermögen häufig durch rasches Anblasen des glimmenden Dochtes die Flamme wieder herzustellen, indem der verstärkte Luftzug ein lebhafteres Verbrennen des Dochtes und die in Folge hiervon gesteigerte Hitze eine Entzündung der entbundenen Gase oder Dämpfe herbeiführt.

Von den Verbindungen des Kohlenstoffs mit den übrigen einfachen Stoffen führen wir nur noch die mit dem Stickstoff, dem Schwefel und dem Eisen an.

Mit dem Stickstoff bildet der Kohlenstoff eine äußerst merkwürdige gasförmige Verbindung, das Cyan (C^2N oder Cy), welches, obschon ein zusammengesetzter Körper, in seinem chemischen Verhalten große Aehnlichkeit mit dem Chlor (s. unten §. 102) hat und sehr geneigt ist, sich mit Metallen zu verbinden. So besteht z. B. das bekannte Berlinerblau aus Cyan und Eisen. — Mit dem Wasserstoff bildet das Cyan die bekannte, so äußerst giftige Blausäure und mit dem Sauerstoff die Knallsäure, deren Salze beim Erwärmen oder Reiben mit großer Heftigkeit detoniren. Die explodirende Masse in dem Zündhütchen ist knallsaures Quecksilberoxyd.

Der Schwefelkohlenstoff (CS^2) ist eine farblose Flüssigkeit, welche das Licht sehr stark bricht.

Der Kohlenstoff verbindet sich in verschiedenen Verhältnissen, welche jedoch noch nicht genau ermittelt sind, mit dem Eisen. Nach der größeren oder geringeren Menge des im Eisen enthaltenen Kohlenstoffs unterscheidet man Gußeisen oder Roheisen, Stahl und Stabeisen. Das letzte enthält am wenigsten Kohlenstoff, etwa $\frac{1}{2}$ Procent, und das Gußeisen die größte Menge, 3 bis 5 Procent; im Stahl ist mehr Kohlenstoff, als im Stabeisen, aber weniger, als im Gußeisen enthalten. — Das Gußeisen ist spröde, nicht schmiedbar und nicht schweißbar, aber leichter schmelzbar, als Stabeisen. — Das Stabeisen wird in der Rothglühhitze weich und läßt sich schmieden und in der Weißglühhitze zusammenschweißen. — Der Stahl läßt sich ebenfalls schmieden und schweißen, schmilzt leichter, als Stabeisen, aber schwerer, als Gußeisen und erlangt, wenn er nach dem Glühen rasch abgekühlt wird, eine bedeutende Härte.

§. 97. Organische Verbindungen des Kohlenstoffs, Sauerstoffs, Wasserstoffs und Stickstoffs.

Aus diesen wenigen Elementen ist die unzählige Menge der organischen Körper zusammengesetzt. Die unendliche Mannigfaltigkeit derselben wird hauptsächlich durch die verschiedenen Verhältnisse, in denen die angeführten vier Stoffe mit einander verbunden sind, hervorgebracht. Zwar findet man in den Thier- und Pflanzenkörpern noch Phosphor, Schwefel, Kali, Kalkerde, Kieselsäure und andere mineralische Substanzen, welche die beim Verbrennen der Pflanzen zurückbleibende Asche zusammensetzen, jedoch im Vergleich mit den vier Hauptbestandtheilen Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasser- und Stickstoff meist nur in sehr geringen Mengen.

Die organischen Verbindungen, aus denen die thierischen und Pflanzenkörper bestehen, werden auf eine uns unbegreifliche Weise durch den Lebensproceß hervorgebracht und können (bis auf wenige Ausnahmen) nicht durch künstliche Zusammensetzung aus den Elementen hergestellt werden.

Alle organischen Körper enthalten als wesentlichen Bestandtheil Kohlenstoff; in einigen organischen Verbindungen ist derselbe nur mit Wasserstoff verbunden, so z. B. im Terpentinöl, Steinöl, Citronenöl, dem Kautschuk u. a. m.; die meisten organischen Körper sind aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzt, zu denen häufig, besonders in solchen Köpern, welche aus dem Thierreiche abstammen, der Stickstoff hinzutritt.

Man theilt die organischen Verbindungen in Säuren, Basen und indifferente Stoffe. Zu den ersteren gehören die Pflanzensäuren, z. B. die Essigsäure, Aepfelsäure, Weinsäure, Citronensäure, Gerbsäure u. a. m.; zu den Basen gehören das Morphin, welches aus dem Opium, das Chinin, welches aus der Chinarinde dargestellt wird, u. a. m. Zu den indifferenten Stoffen rechnet man die Stärke, das Gummi, den Zucker, den Alkohol, den Aether, die verschiedenen Oele und Harze, die eiweißartigen Stoffe u. a. m.

Die Essigsäure, welche mit Wasser vermischt den Hauptbestandtheil des gewöhnlichen Essigs ausmacht, krystallisirt im concentrirten Zustande unter 15° in wasserhellen Nadeln, wird über 15° flüssig, läßt sich in jedem Verhältnisse mit Wasser vermischen und bildet mit Basen im Wasser lösliche Salze, von denen die bekanntesten die Verbindungen der Essigsäure mit Bleioxyd (Bleizucker) und mit Kupferoxyd (Grünspan) sind. Der gewöhnliche Essig enthält auf ein Pfund Wasser nur ein bis zwei Loth Essigsäure.

Die Gerbsäure, welche sich in größter Menge in den Galläpfeln findet, bildet mit Eisenoxyd eine schwarzblaue Verbindung, welche den Hauptbestandtheil unserer gewöhnlichen Dinte ausmacht. Da dieselbe im Wasser wenig löslich ist, so wird sie durch einen Zusatz von Gummi als feines Pulver im Wasser schwebend erhalten.

*§. 98, a. Ernährung der Pflanzen.

Wie wir im Vorhergehenden gesehen haben, können die Theile, aus denen die organischen Körper zusammengesetzt sind, ihren Hauptbestandtheilen nach als ternäre oder quaternäre Verbindungen aus den Elementen Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff angesehen werden. Nach dem Tode der Thiere und Pflanzen werden bei der Fäulniß oder Verwesung diese ternären oder quaternären Verbindungen zerlegt und statt derselben binäre Verbindungen, nehmlich Kohlensäure (Kohlenstoff + Sauerstoff), Wasser (Sauerstoff + Wasserstoff) und Ammoniak (Wasserstoff + Stickstoff) gebildet. Da nun, wie wir sogleich weiter zeigen werden, Kohlensäure, Wasser und Ammoniak diejenigen Stoffe sind, aus denen die Pflanzen ihre hauptsächlichste Nahrung ziehen, so werden Pflanzen und Thiere nach ihrem Tode, durch die Zersetzung, welche sie bei der Verwesung erleiden, die Quelle eines neu sich entwickelnden organischen Lebens.

Einen großen Theil ihres Kohlenstoffs entnehmen die Pflanzen aus der Atmosphäre, indem die Blätter und andere grüne Pflanzentheile die in der Atmosphäre enthaltene Kohlensäure zerlegen, sich den Kohlenstoff aneignen und den Sauerstoff ausathmen. Durch den Athmungsproceß der Pflanzen müßte daher der Gehalt der Atmosphäre an Kohlensäure fortwährend vermindert, an Sauerstoff vermehrt werden, wenn nicht durch Verbrennungsprocesse, Fäulniß und Verwesung organischer Substanzen, hauptsächlich durch das Athmen der Thiere, bei welchem beständig Sauerstoff verzehrt und Kohlensäure entbunden wird, das Gleichgewicht dieser Gase in der Atmosphäre wieder hergestellt würde. Auf diese Art gehen aus der Lebensthätigkeit jedes der beiden organischen Reiche zugleich der Unterhalt und die Bedingungen für das Leben des andern hervor.

So wie die Pflanzen aus der Atmosphäre mit Kohlenstoff, werden sie auch mit Stickstoff durch das in derselben enthaltene Ammoniak versorgt*). Außerdem ist auch in dem Wasser, welches die Wurzeln aus der Erde einsaugen, und durch welches den Pflanzen Sauerstoff und Wasserstoff zugeführt werden, beständig Kohlensäure und Ammoniak enthalten, welche bei der Verwesung der in der Dammerde enthaltenen organischen Stoffe entbunden werden. Die verschiedenartigen organischen Verbindungen, welche sich in Folge der allmählig fortschreitenden Fäulniß dieser Stoffe entwickeln und der Damm-

*) Nach Ville nehmen die Pflanzen auch unmittelbar aus der atmosphärischen Luft Stickstoff auf. — Nach den neuesten Untersuchungen von Boussingault tragen auch die im Boden enthaltenen salpetersauren Salze zur Versorgung der Pflanzen mit Stickstoff bei, indem unter Mitwirkung verwesender organischer Substanzen Ammoniak gebildet wird.

erde die schwärzliche Farbe ertheilen, werden gewöhnlich mit dem Namen Humus bezeichnet.

Durch die Wurzeln nehmen die Pflanzen aus dem Boden auch die zu ihrem Gedeihen erforderlichen mineralischen Bestandtheile, Alkalien und Erden, Kieselsäure u. s. w. auf. Obschon diese Stoffe sich in den Pflanzen nur in verhältnißmäßig geringer Menge finden, so sind sie doch für das Gedeihen der Pflanzen unentbehrlich. Sind dieselben in einem Boden nicht in hinreichender Menge und in der für die Aufnahme durch die Pflanzen geeigneten Form vorhanden, so kann sich auf demselben nur eine kümmerliche Vegetation entwickeln. —

Da die mineralischen Bestandtheile in den Aschen verschiedener Pflanzenarten sich in verschiedenen Verhältnissen finden und also auch in ungleichen Mengen von denselben dem Boden entzogen werden, z. B. Gräser in großer Menge Kieselsäure, Hülsenfrüchte viel Kalkerde, Rüben und Kartoffeln viel Kali u. s. w. aufnehmen, so werden im Allgemeinen verschiedene Pflanzenarten leichter, als Pflanzen derselben Art neben einander ihr Fortkommen finden, ein Umstand, welcher wesentlich zu der großen Mannigfaltigkeit der Gewächse, welche wir in bunter Mischung im freien Felde, auf einer Wiese u. s. w. antreffen, beitragen dürfte. Eben so werden aber auch nach einander verschiedene Pflanzen in dem nehmlichen Boden die zu ihrer Nahrung erforderlichen Bestandtheile leichter antreffen, worauf die Zweckmäßigkeit des Fruchtwechsels in der Oeconomie beruht.

In einem sich selbst überlassenen Boden werden die durch eine Pflanzengeneration demselben entzogenen mineralischen Stoffe nach dem Tode und der Verwesung dieser Generation dem Boden wieder gegeben und so einem folgenden Pflanzengeschlechte zugleich in der für die Aufnahme geeignetsten Form dargeboten, woraus sich die große Ueppigkeit der Vegetation in den Urwaldungen erklärt. Anders verhält es sich dagegen mit dem von Menschen benutzten Boden. Die mineralischen Stoffe, welche die Bäume eines Waldes, die Gräser einer Wiese, das Getreide eines Ackerfeldes aus dem Boden aufgenommen haben, sind entweder für denselben für immer verloren oder werden ihm doch nicht unmittelbar wieder gegeben und müssen daher, wenn der Boden einer folgenden Aussaat eine gedeihliche Entwickelung gewähren soll, anderweitig ersetzt werden, worin hauptsächlich der Zweck der Düngung des angebauten Landes besteht.

Die große Wichtigkeit der unorganischen Bestandtheile für das Gedeihen der Pflanzen ist besonders durch Liebig in neuerer Zeit nachgewiesen worden. In den thierischen Excrementen sind dieselben besonders reichlich und in einer für die Aufnahme durch die Pflanzen geeigneten Form enthalten. Viele derselben finden sich in der Jauche in großer Menge aufgelöst. — Eben so werden auch Holzasche, gemahlene Knochen u. dgl. als sehr wirksame Düngungsmittel benutzt, weil durch dieselben der Gehalt des Bodens an unorganischen, das Gedeihen der Pflanzen befördernden Bestandtheilen vermehrt wird.

*§. 98, b. Ernährung der Thiere.

Während die Pflanzen ihre Nahrung unmittelbar der anorganischen Natur entnehmen, vermögen die Thiere nur organische Stoffe, entweder Pflanzen oder andere Thiere, welche von Pflanzen leben, zu ihrer Nahrung zu verwenden; kein Thier ist im Stande, blos von anorganischen Stoffen zu leben.

Die von den Thieren aufgenommene Speise hat eine doppelte Bestimmung zu erfüllen; sie wird theils zur Ernährung des Leibes verwendet, theils dient sie dazu, die für das thierische Leben erforderliche Wärme zu entwickeln. — Indem das Blut in den Lungen mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommt, nimmt es aus derselben Sauerstoff auf, welcher mit den Bestandtheilen des Blutes, so wie auch mit den verschiedenen Theilen des Körpers, zu denen er mit dem Blute hingeführt wird, mannigfaltige Verbindungen eingeht, ins Besondere sich mit einem Theile des Kohlenstoffs und Wasserstoffs derselben zu Kohlensäure und Wasser vereinigt, wodurch, wie bei jeder Verbrennung, Wärme entbunden wird. — Es erklärt sich

hieraus die vermehrte Wärme, welche wir nach dem Essen empfinden, so wie auch, warum wir im Winter mehr Speise, als im Sommer bedürfen.

Nicht blos das in der angegebenen Art gebildete Wasser, sondern auch die Kohlensäure werden vom Blute aufgenommen und theils durch die Haut, theils in den Lungen ausgedunstet und ausgeathmet.

(Fig. 97.)

Athmet man durch ein Röhrchen in Kalkwasser, Fig. 97, so entsteht in demselben eine Trübung, zum Beweise, daß der ausgeathmeten Luft Kohlensäure beigemengt ist.

Zur Ernährung des Leibes tragen hauptsächlich die stickstoffreichen Substanzen, z. B. das Fleisch der Thiere, zur Erwärmung vorzüglich die an Kohlenstoff reichen Substanzen, z. B. das thierische Fett, welches fast nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff besteht, bei. — Von den Pflanzenspeisen sind ebenfalls nur diejenigen, welche reich an stickstoffhaltigen Bestandtheilen sind, die mehlreichen Samen der Getreidearten und Hülsenfrüchte, die jungen Stengel und Blätter im eigentlichen Sinne nahrhaft, während die an stickstoffhaltigen Bestandtheilen armen Speisen, als Kartoffeln, Rüben, Obst, mehr zur Unterhaltung des Respirationsprocesses und zur Erwärmung des thierischen Leibes beitragen. — Liebig benennt daher die ersteren plastische Nahrungsmittel, die letzteren Respirationsmittel.

Unter den stickstoffhaltigen organischen Verbindungen sind in Beziehung auf den Ernährungsproceß besonders hervorzuheben: die eiweißartigen oder Proteinverbindungen, welche in ihrem Verhalten und in ihrer chemischen Zusammensetzung unter sich große Aehnlichkeit haben, sämmtlich Schwefel, zum Theil auch Phosphor enthalten. Wir führen, als die wichtigsten, folgende an:

Das Eiweiß (Albumin) ist in thierischen Flüssigkeiten und in Pflanzensäften sehr verbreitet; während es im kalten Wasser leicht löslich ist, gerinnt es in der Wärme (60^0—70^0), wie dies von dem Eiweiß in den Eiern allgemein bekannt ist.

Das Casein, besonders reichlich in der Milch enthalten, ist ebenfalls im Wasser löslich, gerinnt nicht in der Wärme, aber bei einem Zusatz von Säure. Demselben mehr verwandt ist

Das Legumin oder Pflanzencasein, welches sich vorzüglich in dem Samen der Hülsenfrüchte findet.

Das Fibrin findet sich im Blute der Thiere aufgelöst, gerinnt aber, so wie das Blut aus dem thierischen Körper austritt. Demselben verwandt sind

Das Muskelfibrin im Muskelfleisch der Thiere und

Das Pflanzenfibrin oder der Kleber, welcher besonders reichlich im Roggen- und Weizenmehle enthalten ist und dem hieraus bereiteten Teige die Zähigkeit giebt.

Da nun von den näheren Bestandtheilen der aus dem Pflanzenreiche stammenden Nahrungsmittel die stickstoffreichen oder Proteinverbindungen: Eiweiß, Pflanzencasein und Kleber, mit dem Fleisch und Blute der Thiere, die stickstofffreien aber, der Zellstoff, welcher die Mündungen der Pflanzenzellen bildet, die Stärke, welche sich in verschiedenen Pflanzentheilen, in größter Menge aber im Mehle findet, das Gummi, der Zucker und die fetten Oele mit dem thierischen Fette in ihrer chemischen Zusammensetzung die größte Aehnlichkeit haben, so dürfen wir hieraus schließen, daß die ersteren vorzüglich zur Ernährung, zur Bildung der verschiedenen Organe des thierischen Leibes, die letzteren aber, mit Ausnahme des Zellstoffs, welcher fast unver-

ändert wieder abgeht, zur Bildung von thierischem Fett verwendet werden. Durch die in Folge des Respirationsprocesses stattfindende Oxydation des Kohlenstoffs und Wasserstoffs derselben zu Kohlensäure und Wasser wird überdies, wie schon oben angegeben, die dem thierischen Körper eigenthümliche und unentbehrliche Wärme erzeugt.

Ueber die wichtigsten aus dem Pflanzenreiche stammenden Nahrungsmittel, Erbsen oder Bohnen, Weizen- oder Roggenmehl und Kartoffeln bemerken wir noch Folgendes: Alle drei enthalten Wasser, Zellstoff, Stärke und Eiweiß; außerdem enthalten die Erbsen und Bohnen noch reichlich Pflanzencasein, das Weizen- und Roggenmehl reichlich Kleber und die Kartoffeln ein Wenig Casein. Ueberhaupt haben Erbsen und Bohnen den größten, die Kartoffeln den geringsten Gehalt an eiweißartigen Bestandtheilen.

Unter den aus dem Thierreiche stammenden Nahrungsmitteln heben wir hervor:

Das Ei besteht hauptsächlich aus im Wasser aufgelöstem Eiweiß; das Eidotter enthält außerdem noch in großer Menge ein fettes Oel, welchem es die gelbe Farbe und die leichtere Verdaulichkeit verdankt.

Die Milch enthält im Wasser aufgelöstes Casein, etwas Eiweiß, ferner Milchzucker, welcher leicht in Milchsäure übergeht und das Gerinnen des Caseins herbeiführt, und Fett, welches fein zertheilt in Form von kleinen Kügelchen im Wasser schwebt, bei der Butterbereitung aber zu größeren Klumpen vereinigt wird.

Das Fleisch besteht hauptsächlich aus Wasser, Fett, Leim, Fibrin, Eiweiß und Kreatin, einer ebenfalls stickstoffhaltigen, im Wasser löslichen und krystallisirbaren Substanz.

*§. 99. Schwefel.

Der Schwefel ist in der Natur sehr verbreitet; er findet sich theils gediegen, besonders in vulkanischen Gegenden, theils in Verbindung mit Metallen, theils in Verbindung mit Sauerstoff, als Schwefelsäure, und in den schwefelsauren Salzen, ferner auch in verschiedenen Pflanzen und thierischen Körpern, z. B. in den Eiern.

Der Schwefel hat eine hellgelbe Farbe, findet sich häufig in der Natur krystallisirt und kann auch künstlich durch Schmelzen leicht zum Krystallisiren gebracht werden. (Vergl. oben §. 16.) Die auf diese Art erhaltenen undurchsichtigen Krystalle haben jedoch andere Formen, als die natürlichen Krystalle, welche durchsichtig sind. Der Schwefel hat die merkwürdige Eigenschaft, daß er nach dem Schmelzen (ohngefähr bei 110° C.) zuerst eine dünne gelbe Flüssigkeit bildet, bei weiterer Erwärmung dickflüssig und braun und endlich (bei 250°) zäh und steif wird. Gießt man ihn jetzt unter Wasser aus, so bleibt er noch einige Zeit steif und wird erst nach einigen Tagen fest. Man benutzt ihn wegen dieser Eigenschaft zu Abdrücken von Münzen, Kameen u. dgl. Wenn man aber fortfährt, den Schwefel zu erhitzen, so wird er wieder dünnflüssig und kommt endlich (bei 420°) ins Sieden. Er bildet hierbei ein gelbes Gas, aus welchem bei der Vermischung mit kalter Luft sich die sogenannten Schwefelblumen niederschlagen. — Bringt man in das heiße Schwefelgas ein dünn gewalztes Eisen-, Kupfer- oder Silberblech, so verbindet sich das Metall unter Feuererscheinung mit dem Schwefel. — Der Schwefel entzündet sich leicht und verbrennt an der Luft mit einer blaßblauen Flamme; er verwandelt sich hierbei in schwefeligsaures Gas, welches beim Einathmen zum Husten reizt.

Der Schwefel geht mit den übrigen einfachen Stoffen viele und wichtige Verbindungen ein. Unter den verschiedenen Verbindungen, welche der Schwefel mit dem Sauerstoffe eingeht, sind die Schwefelsäure (Vitriolöl) und die schwefelige Säure die bekanntesten. — Mit dem Wasserstoff bildet der Schwefel ebenfalls eine Säure, die Schwefelwasserstoffsäure, welche sich in der Natur in den sogenannten Schwefelwässern findet und sich bei der Fäulniß Schwefel enthaltender organischer Stoffe, z. B. der Eier,

erzeugt. — Die Verbindungen des Schwefels mit den Metallen sind in der Natur sehr verbreitet und gehören zu den gewöhnlichsten und wichtigsten Erzen.

Die Schwefelsäure (SO^3) besitzt eine große Anziehung zum Wasser. Die wasserfreie Schwefelsäure bildet bei niederer Temperatur einen festen, zähen, schneeweißen Körper, welcher sehr begierig aus der Luft Wasser anzieht. Mit der geringsten Menge Wasser verbunden bildet sie die sogenannte concentrirte Schwefelsäure, eine ölartige Flüssigkeit, welche ebenfalls noch aus der Luft begierig Wasser anzieht und bei der Vermischung mit Wasser sich stark erhitzt, bis zum Aufkochen und Umherspritzen. Dieselbe zerstört alle Pflanzen- und Thierstoffe, löst sie auf oder schwärzt sie, indem sie ihnen den Sauerstoff und Wasserstoff entzieht, welche sich, zu Wasser vereinigt, mit der Schwefelsäure verbinden, während der Kohlenstoff unaufgelöst zurückbleibt. — Die Schwefelsäure ist eine der stärksten Säuren; sie treibt in den meisten Fällen die anderen Säuren aus ihren Verbindungen mit den Basen aus. Die meisten Metalle, mit Ausnahme von Gold, Platin und einigen seltneren Metallen, sind in der Schwefelsäure, besonders unter Mitwirkung der Wärme, löslich. (Vergl. oben die Darstellung des Wasserstoffgases.) Die schwefelsauren Metallsalze nannte man früher Vitriole und die Schwefelsäure selbst wegen ihrer Gewinnung aus Eisenvitriol (schwefelsaurem Eisenoxydul) Vitriolöl.

Die schwefelige Säure (SO^2) entwickelt sich beim Verbrennen des Schwefels in atmosphärischer Luft als ein farbloses, zum Athmen schädliches und Husten erregendes Gas.

Der Schwefelwasserstoff (Hydrothionsäure HS) ist ein farbloses Gas von äußerst unangenehmem Geruch, wie faule Eier, ist zum Athmen sehr schädlich, verbrennt mit blaßblauer Flamme und wird vom Wasser ziemlich begierig absorbirt. Es entwickelt sich bei der Fäulniß schwefelhaltiger organischer Stoffe, ins Besondere der Eier, und findet sich in mehreren Mineralwassern, den sogenannten hepathischen oder Schwefelquellen, zu Aachen, Baden bei Wien, Warmbrunn in Schlesien u. a. m. Die meisten Metalle werden aus ihren Auflösungen durch Schwefelwasserstoff gefällt, indem sich im Wasser unlösliche Schwefelmetalle bilden und der Sauerstoff des Metalloxyds mit dem Wasserstoff des Schwefelwasserstoffs sich zu Wasser vereinigt. Man wendet daher dasselbe häufig, als chemisches Reagens, zur Entdeckung von aufgelösten Metallen an. Silbergeräth, welches mit Schwefelwasserstoff in Berührung kommt, wird gelbbraun, indem es sich mit einem Häutchen von Schwefelsilber bedeckt.

*§. 100. Phosphor.

Der Phosphor wurde zuerst 1669 von Brandt im Urin entdeckt und wird gewöhnlich aus geglühten Knochen, welche größtentheils aus phosphorsaurem Kalke bestehen, dargestellt. Indem man dieselben zunächst mit Schwefelsäure übergießt, wird die Phosphorsäure ausgetrieben, welche man dann, mit pulverisirter Kohle vermischt, in verschlossenen Gefäßen stark glüht, wobei der Phosphor reducirt und Kohlensäure gebildet wird. — Außerdem findet sich auch der Phosphor in der anorganischen Natur in einigen Mineralien.

Der Phosphor hat eine blaßgelbe Farbe, wird vom Lichte geröthet, schmilzt schon bei 35° C., entzündet sich ohngefähr bei 60° C. und verbrennt mit einer sehr hellen, weißen Flamme, wobei Phosphorsäure gebildet wird. Eben so entzündet sich derselbe beim Reiben an rauhen Flächen, worauf seine Anwendung zu den Zündhölzchen beruht *). — Bei der gewöhnlichen Temperatur an der Luft liegend stößt er weiße, im Finstern leuchtende Dämpfe aus, indem er sich langsam zu phosphoriger Säure oxydirt, weshalb man den Phospor beständig unter Wasser aufbewahren muß. — Er gehört zu den stärksten Giften und wird schon in geringen Dosen tödtlich.

Wie schon oben erwähnt, röthet sich der Phosphor im Sonnenlichte. Der rothe Phosphor weicht in seinem chemischen und physikalischen Verhalten von dem gewöhn-

*) Die Zündhölzchen werden erst in Schwefel und dann in einen Teig getaucht, welcher aus Phosphor, Leim oder Gummi arabicum, feinem Sande, rothem Ocker oder Zinnober besteht. Die beiden letzten Substanzen, welche nur zur Färbung dienen, können auch durch Berlinerblau ersetzt werden.

lichen Phosphor ab. Er schmilzt erst bei 250° und entzündet sich bei Weitem schwieriger, als gewöhnlicher Phosphor, so daß er gefahrloser, als dieser versendet werden kann. Man erhält denselben in größeren Mengen, wenn man gewöhnlichen Phosphor in einer mit Kohlensäure gefüllten Retorte bis 250° erhitzt. Bei 260° verwandelt er sich wieder in gewöhnlichen Phosphor.

Der Phosphor verbindet sich mit dem Sauerstoffe in vier verschiedenen Verhältnissen zu Phosphoroxyd (P^2O), welches gewöhnlich beim Verbrennen des Phosphors als ein rothbraunes Pulver zurückbleibt, zu unterphosphoriger (PO), zu phosphoriger (PO^3) und Phosphorsäure (PO^5).

Auch mit dem Wasserstoff geht der Phosphor mehrere Verbindungen ein, von denen die eine, Phosphorwasserstoffgas (H^3P), ein leicht entzündliches Gas bildet.

§. 101. Kiesel.

Der Kiesel (Silicium), welcher zuerst 1824 von Berzelius dargestellt wurde, bildet den am meisten verbreiteten, festen Bestandtheil der uns bekannten Erdrinde. Er findet sich jedoch nirgends rein in der Natur, sondern immer mit Sauerstoff verbunden, als Kieselsäure. — Der reine Kiesel kann (nach Wöhler) aus dieser in Form metallisch glänzenden, dem Graphit ähnlicher Blätter dargestellt werden.

Die Kieselsäure (SiO^3), welche man früher zu den Erden rechnete und daher Kieselerde nannte, findet sich fast rein im Bergkrystall und gemeinen Quarz, mit verschiedenen Stoffen vermischt im Amethyst, Chalcedon, Hornstein, Feuerstein, Kieselschiefer, Jaspis u. s. w. Außerdem geht sie mit den Alkalien und Erden eine große Menge Verbindungen ein, welche man Silicate nennt, und von denen wir nur den Feldspath (kieselsaure Kali-Thonerde) anführen. Ferner bildet sie mit Thonerde den Hauptbestandtheil der gewöhnlichen Thonarten *). Da nun auch der Sand größtentheils aus Quarzkörnern besteht, so sieht man hieraus, daß fast die ganze Oberfläche der Erde aus Kieselsäure und kieselsauren Verbindungen zusammengesetzt ist. — Fast alle Pflanzen nehmen Kieselsäure aus dem Boden auf; besonders reich an Kieselsäure sind die Stengel der Gräser, Getreidearten und Schachtelhalme, welche dieselbe unter der Oberhaut ablagern und dieser hierdurch Rauhigkeit und Härte ertheilen.

Die Kieselsäure, wie sie rein im Bergkrystall vorkommt, ist durchsichtig, hart, nur im Sauerstoffgebläse schmelzbar, im Wasser und in allen Säuren, mit Ausnahme der Flußsäure, durchaus unlöslich. Wenn aber die Kieselsäure aus ihren Verbindungen auf nassem Wege ausgeschieden wird, so stellt sie sich, frisch bereitet, als eine durchscheinende Gallerte dar, welche in Wasser, vorzüglich in Kohlensäure haltigem, ziemlich leicht auflöslich ist, woraus sich ihr Vorkommen im Wasser der Quellen und Brunnen und in den Pflanzen erklärt. Besonders findet sich dieselbe in großer Menge in den heißen Quellen auf Island, aus denen sie sich beim Erkalten, als Kieselsinter, abscheidet.

Zu den künstlichen Verbindungen der Kieselsäure gehört das Glas, welches aus kieselsaurem Kali oder Natron und aus kieselsaurem Kalke besteht und durch Zusammenschmelzen von Quarz (Sand), Pottasche oder Soda und Kalk bereitet wird. Die verschiedenen Sorten entstehen theils durch die verschiedenen Verhältnisse, in denen die angeführten Substanzen gemischt werden, theils durch Zusatz verschiedener Metalloxyde.

So rührt z. B. die grüne Farbe des gewöhnlichen Fenster- und Flaschenglases von Eisenoxydul her, indem man zur Bereitung desselben gewöhnlichen, durch Eisenoxydhydrat gelb gefärbten Quarzsand anwendet. — Das Milchglas wird durch Zusatz

*) Da die verschiedenen Thonarten nicht ursprüngliche Bildungen unseres Erdkörpers, sondern durch Zerstörung früher gebildeter Felsen entstanden sind, so zeigen sie auch nach der verschiedenen Beschaffenheit der Gesteine, welchen sie ihre Entstehung verdanken, eine sehr verschiedene Zusammensetzung. Sie sind nicht als eigentliche Mineralien oder chemische Verbindungen, sondern als ein Gemenge verschiedener fein zertheilter Mineralsubstanzen anzusehen.

von gebrannten Kochen erhalten. Eine Art Krystallglas, das Flintglas, besteht aus Kieselsäure, Kali und Bleioxyd, während Kieselsäure, Natron oder Kali und Kalkerde die Bestandtheile des gewöhnlichen böhmischen oder Kronglases sind.

Das sogenannte Wasserglas, welches im Wasser löslich ist, ist eine Verbindung von vielem Kali mit wenig Kieselsäure, und wird als ein Ueberzug für Holz, Mauersteine und andere Gegenstände benutzt, um dieselben gegen den Einfluß der Atmosphäre, gegen Feuersgefahr u. dgl. zu schützen.

*§. 102. Chlor.

Das Chlor findet sich vorzüglich in Verbindung mit Natrium als Kochsalz.

Das Chlor ist ein grünlich gelbes Gas von eigenthümlichem, erstickendem Geruche, zum Athmen sehr schädlich, ohngefähr $2^1/_2$ mal so schwer, als atmosphärische Luft und wird vom Wasser ziemlich begierig verschluckt; (ein Maaß Wasser nimmt ohnefähr 2 Maaß Chlor auf). Bei starkem Drucke wird es flüssig. — Das Chlor ist selbst nicht brennbar, aber Phosphor und mehrere Metalle (Antimon, Wismuth), wenn sie in fein pulverisirtem Zustande in Chlorgas geschüttet werden, entzünden sich in demselben bei der gewöhnlichen Lufttemperatur. Eben so kommt unächtes Blattgold (Messing) ins Glühen, und wenn es an einem dünnen Drath von Messing, Kupfer oder Eisen befestigt ist, so entzündet es denselben. Hierbei werden natürlich nicht Oxyde, sondern Verbindungen mit Chlor gebildet. — Das Chlor hat die Eigenschaft, die meisten Thier- und Pflanzenstoffe in ihrer Zusammensetzung zu verändern; es zerstört die Pflanzenfarben, die riechenden Materien, welche sich von faulenden organischen Stoffen entwickeln, und die Ansteckungsstoffe, welche bei gewissen Krankheiten sich erzeugen. Man wendet daher das Chlor, besonders den sogenannten Chlorkalk zum Bleichen und zur Zerstörung von Miasmen an. Die Wirkung des Chlors als Bleichmittel beruht darauf, daß es den Pflanzenfarben, welche aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehen, ihren Wasserstoff entzieht und sich mit demselben verbindet.

Das Chlor geht fast mit allen bekannten einfachen Stoffen Verbindungen ein und hat vorzüglich zum Wasserstoff eine sehr starke Verwandtschaft. Wenn man ein Maaß Chlor und ein Maaß Wasserstoff im Dunkeln in einem Glase mischt und die Mischung hierauf der Wirkung der Sonnenstrahlen aussetzt, so vereinigen sich beide Gase unter einer heftigen Explosion. Das Produkt dieser Vereinigung ist Salzsäure. Ein Maaß Chlor und ein Maaß Wasserstoff geben zwei Maaß gasförmige Salzsäure.

Das Chlorgas wird dargestellt, wenn man Braunstein, Manganſuperoxyd (MO^2) mit Salzsäure (HCl) übergießt und in einem Kölbchen mäßig erwärmt, wobei man sich des in Fig. 91 abgebildeten Apparates bedienen kann. Die 2 Atome Sauerstoff des Braunsteins verbinden sich hierbei mit 2 Atomen Wasserstoff der Salzsäure zu Wasser, wodurch 2 Atome Chlor frei werden, von denen das eine sich mit dem einen Atom Mangan des Braunsteins zu einem im Wasser löslichen Salze (Manganchlorür) verbindet, das andere aber in Gasform entweicht.

Die Salzsäure (HCl) ist ein farbloses Gas, welches vom Wasser sehr begierig verschluckt wird. Ein Maaß Wasser kann 464 Maaß gasförmige Salzsäure aufnehmen. Diese Verbindung wird flüssige Salzsäure genannt. Die gasförmige Salzsäure hat einen sauern, stechenden Geruch, ist schädlich einzuathmen, selbst nicht brennbar und vermag auch das Verbrennen nicht zu unterhalten.

In der sogenannten flüssigen Salzsäure lassen sich mehrere Metalle, wie z. B. Zink, Zinn, Eisen, auflösen. Die Metalle verbinden sich hierbei mit dem Chlor, und Wasserstoffgas wird entbunden. Da viele dieser Verbindungen alle Eigenschaften der eigentlichen Salze (Verbindungen von Säuren und Basen) haben, so nennt man sie Haloidsalze*). Das bekannteste dieser Salze ist das Chlornatrium oder Kochsalz. Dasselbe

*) Aehnliches gilt von den Verbindungen des Jod, Brom, Fluor und Cyan mit den Metallen.

findet sich als Steinsalz in der Erde und ist reichlich im Meerwasser und in den sogenannten Salzsoolen, in geringer Menge fast in allen Quellen enthalten. Es ist in gleicher Menge heißen und kalten Wassers löslich, während fast alle anderen Salze in größerer Menge von heißem Wasser aufgelöst werden. Ein Loth Kochsalz erfordert zu seiner Auflösung ohngefähr $2^3/_4$ Loth Wasser. Beim Verdampfen des Wassers krystallisirt dasselbe in würfelförmigen Krystallen.

Ferner gehört hierher das Chlorammonium oder der Salmiak, ein im Wasser leicht lösliches Salz; — das Chlorcalcium, welches Feuchtigkeit aus der Luft begierig einsaugt und daher in der Physik häufig zum Trocknen der Gase angewendet wird; — das Chlorsilber, welches sich bei Fällung eines aufgelösten Silbersalzes durch Salzsäure als ein weißer Niederschlag bildet, welcher sich am Lichte schnell violett und zuletzt schwarz färbt. Man nennt das geschmolzene Chlorsilber gewöhnlich Hornsilber.

Der Chlorkalk, dessen man sich zum Bleichen der Leinwand und der Kattune bedient, wird im Großen bereitet, indem man gelöschten Kalk in einer Kammer ausbreitet, in welche man Chlorgas eintreten läßt; dasselbe ist ein Gemenge von Chlorcalcium und unterchlorigsaurer Kalkerde, welche eben so wie das Chlor zerstörend auf die Pflanzenfarben einwirkt.

Eine Mischung von Salpetersäure und Salzsäure führt den Namen Königswasser, weil sie den König der Metalle, das Gold, so wie auch das Platin auflöst. Bei der Mischung der beiden Säuren findet nehmlich eine Zersetzung statt und Chlor wird entbunden, indem der Wasserstoff von einem Theile der Salzsäure und der Sauerstoff von einem Theile der Salpetersäure sich zu Wasser vereinigen. Diese Zersetzung der beiden Säuren schreitet nur so weit fort, bis das Wasser derselben mit Chlor gesättigt ist. Bringt man nun z. B. Gold in Königswasser, so verbindet sich dasselbe mit dem frei gewordenen Chlor zu Chlorgold, was eine weitere Zersetzung der beiden Säuren, Entwickelung von Chlor und Bildung von Chlorgold, herbeiführt.

Große Aehnlichkeit mit dem Chlor haben in ihrem chemischen Verhalten das Brom, Jod und Fluor. Die beiden ersten finden sich vorzüglich im Meerwasser, in Soolquellen, im Steinsalz u. s. w., das Fluor, welches für sich noch nicht dargestellt worden ist, vorzüglich im Flußspath, in welchem es mit Calcium verbunden ist.

Das Brom ist bei der gewöhnlichen Temperatur eine dunkle, in dünnen Schichten hyacinthrothe Flüssigkeit, welche sich leicht verflüchtigt und rothgelbes Gas liefert. — Das Jod erscheint gewöhnlich in metallisch glänzenden Schuppen, welche eine ähnliche schwarzgraue Farbe, wie der Graphit, haben; es schmilzt und verflüchtigt sich leicht und bildet ein violettes Gas. Der Stärke giebt es eine blaue Farbe. — Das Fluor bildet mit Wasserstoff die Flußsäure, welche erhalten wird, wenn man Flußspath mit Schwefelsäure übergießt. Die Flußsäure ist eine wasserhelle, äußerst flüchtige Flüssigkeit; sie erregt auf der Haut schmerzhafte und gefährliche Blasen, und ihre Dämpfe sind zum Athmen sehr nachtheilig. Sie ist die einzige Säure, welche die Kieselerde (Kieselsäure) auflöst, wobei Fluor und Kiesel sich verbinden. Sie greift daher auch das Glas an, von welchem die Kieselerde einen Hauptbestandtheil bildet, und wird zum Aetzen in Glas benutzt.

*§. 103. Historische Uebersicht.

450 v. Chr. Die alten Griechen lehrten, daß alle Körper aus vier Elementen, Erde, Wasser, Luft und Feuer zusammengesetzt seien.

800 — 1600 n. Chr. Die Versuche verschiedener Aerzte und Alchemisten*) führten auf die Begriffe der chemischen Analysis und Synthesis.

1600—1660. Die Untersuchungen verschiedener Chemiker lehren den Gegensatz zwischen Säuren und Alkalien und die Ausgleichung desselben in den aus ihrer Verbindung hervorgehenden Salzen kennen.

*) Die Alchemie bezweckte, ein Präparat aufzufinden, durch welches alle Metalle in Gold verwandelt werden könnten; dasselbe Mittel, welches der Stein der Weisen genannt wurde, sollte auch die Eigenschaft haben, allen Krankheitsstoff aus dem menschlichen Körper zu entfernen und das Leben zu erhalten. Die Alchemie stammt ursprünglich aus Aegypten; von da gelangte sie nach der Eroberung dieses Landes zu den Römern und im siebenten Jahrhundert zu den Arabern, durch welche sie nach Spanien gebracht und allmählig über ganz Europa verbreitet wurde.

1669. Brandt in Hamburg entdeckt, mit alchemistischen Versuchen beschäftigt, den Phosphor.
1700. Stahl in Halle (später in Berlin) zeigt mit Benutzung der von Becher in Mainz angestellten Untersuchungen, daß durch den Verbrennungsproceß Basen und Säuren gebildet werden; er nimmt jedoch irrthümlich an, daß beim Verbrennen ein ursprünglich mit den brennbaren Körpern verbundener Stoff, welchen er Phlogiston nannte, von denselben getrennt werde.
1718. Geoffroy in Paris begründet die Lehre von der chemischen Wahlverwandtschaft.
1766. Cavendish in England lehrte den Wasserstoff darstellen.
1774. Scheele in Schweden entdeckt das Chlor.
1774. Priestley in England und 1775 Scheele entdecken den Sauerstoff.
1783. Lavoisier in Paris giebt die richtige Erklärung des Verbrennungsprocesses und der Oxydation überhaupt.
1804. Dalton in England stellt, nachdem in Deutschland schon Wenzel (1777) und Richter (1792) auf die bestimmten Verhältnisse in chemischen Verbindungen hingewiesen hatten, die atomistische Theorie auf.
1807. Davy in England stellt die Metalle der Alkalien und verschiedener Erden dar.
1824. Berzelius in Schweden lehrt den Kiesel darstellen und stellt durch seine Untersuchungen die Lehre von den chemischen Proportionen fest.
1840. Liebig in Gießen giebt wichtige Aufschlüsse über den Ernährungsproceß der Pflanzen und Thiere.

Sechster Abschnitt.

Vom Magnetismus.

§. 104. Magnet.

Der Magnet hat die Eigenschaft, Eisen anzuziehen, und wenn er sich frei bewegen kann, eine bestimmte Lage anzunehmen.

Diese Erscheinungen nennen wir magnetische und die uns unbekannte Ursache derselben Magnetismus.

Man unterscheidet natürliche und künstliche Magnete. Die natürlichen werden als Eisenerze an verschiedenen Stellen der Erde gefunden und sind nicht reines Eisen, sondern Eisen, welches mit Sauerstoff verbunden ist. Die künstlichen Magnete werden gewöhnlich aus Stahl bereitet.

An jedem Magnet finden sich zwei Stellen, an denen sich die anziehende Kraft am stärksten äußert; man nennt diese Stellen die Pole, und die Linie, welche dieselben verbindet, die Axe des Magneten.

Zwischen den beiden Polen giebt es eine Stelle, an welcher der Magnet gar keine Anziehung äußert; diese Stelle wird Indifferenzpunkt genannt. An einem länglichen Magnetstabe liegt die indifferente Stelle ohngefähr in

der Mitte, von da nimmt die magnetische Kraft gegen beide Enden hin rasch zu. Man kann sich von diesen Verhältnissen auf eine sehr anschauliche Weise überzeugen, wenn man einen Magnetstab in Eisenfeilicht legt. Fig. 98 stellt einen solchen nebst dem ihn bekleidenden Eisenfeilicht dar.

(Fig. 98.)

Man kann dasselbe auch mit Hülfe einer kleinen, an einem feinen Faden aufgehängten, eisernen Kugel zeigen, welcher man in immer gleichem Abstande verschiedene Stellen des Magneten gegenüber hält. Je stärker oder schwächer die anziehende Kraft dieser verschiedenen Stellen ist, um so mehr werden sie auch das Pendel von der lothrechten Linie ablenken.

Wenn der Magnet sich frei bewegen kann, so wendet sich der eine Pol gegen Norden, der andere gegen Süden; man nennt daher den ersteren Pol den Nordpol, den letzteren den Südpol.

Diese Erscheinung läßt sich am deutlichsten mit Hülfe der Magnetnadel zeigen. Diese besteht aus einem magnetisirten Stahlstäbchen, welches in der Mitte durchbohrt und mit einem kleinen Achathütchen versehen ist, vermittelst dessen die Nadel auf einer feinen Spitze ruht, um welche sie sich frei herumdrehen kann.

Wenn man die Richtung einer Magnetnadel mit der Mittagslinie vergleicht, so findet man, daß sie nicht genau nach Norden zeigt, sondern in unseren Gegenden ohngefähr 16^0 gegen Westen abweicht.

Die Magnetnadel findet wichtige Anwendungen bei der Schifffahrt als Compaß und beim Feldmessen als Boussole.

Außer dem Eisen besitzen auch die Metalle Nickel und Kobalt in beträchtlichem Maaße, wenngleich schwächer, als Eisen, die Fähigkeit, von Magneten angezogen und selbst magnetisch zu werden. Auf alle anderen Körper ist der Magnet zwar nicht ganz ohne Einwirkung; diese Wirkung ist jedoch äußerst schwach und kann nur mit Hilfe sehr kräftiger Magnete (besonders Electromagnete) bemerklich gemacht werden. (Wir werden daher vorläufig hiervon ganz absehen, weiter unten aber (§. 110) darüber ausführlicher handeln.)

Der Magnet äußert seine anziehende Kraft auf das Eisen auch durch andere Körper hindurch. Es ist gleichgültig, ob sich zwischen dem Pole eines Magneten und einen Stück Eisen Luft oder ein anderer Körper, Holz, Glas, Papier befindet, wie man sich leicht mit Hülfe des oben angeführten magnetischen Pendels überzeugen kann. Eine Verschiedenheit tritt jedoch dann ein, wenn man zwischen den Magneten und das angezogene Eisen ein Eisenblech oder einen anderen Körper bringt, welcher selbst vom Magneten angezogen wird. In diesem Falle wird die Wirkung entweder geschwächt oder hört ganz auf.

Mit der Entfernung nimmt die magnetische Kraft rasch ab und zwar im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung; sie sinkt also in der doppelten Entfernung auf den vierten, in der dreifachen Entfernung auf den neunten Theil u. s. w.

Der Magnet war schon den alten Griechen und Römern bekannt. Man leitet seinen Namen (μαγνήτης) von der Stadt Magnesia ab, bei welcher zuerst natürliche Magnete gefunden sein sollen. — Die Chinesen bedienen sich der Magnetnadel schon seit den ältesten Zeiten; im 12. Jahrhundert soll dieselbe in Europa bekannt geworden sein.

Man kann sich eine Magnetnadel sehr leicht verschaffen, wenn man eine feine Nähnadel durch Bestreichen oder Anhängen an einen Magneten magnetisirt und auf der Oberfläche des Wassers zum Schwimmen bringt. Man wird dann sogleich sehen, daß sich das eine Ende derselben gegen Norden, das andere gegen Süden wendet. Eine schwerere Nadel läßt sich durch Verbindung mit einem Stückchen Kork zum Schwimmen bringen.

Die natürlichen Magnete finden sich vorzüglich im Urgebirge, auch im vulkanischen Gebirge, und bestehen aus Eisenoxyd und Eisenoxydul. Der Berg Taberg in Lappland und der Pumachanche in Chili sollen fast ganz aus Magneteisenstein bestehen.

An den natürlichen Magneten finden sich nicht selten vier oder noch mehr Pole. Auch künstlich lassen sich Magnete mit mehr als zwei Polen herstellen.

Streng genommen hat man unter dem Pole eines Magneten den Mittelpunkt der von einer Hälfte ausgeübten anziehenden Kräfte zu verstehen.

Viele Körper, welche magnetische Erscheinungen zeigen, verdanken diese Eigenschaften beigemischtem Eisen. Wie auch andere Metalle durch die Einwirkung des electrischen Stromes magnetisch werden, werden wir weiter unten (§. 154) zeigen.

Das Gesetz über die Abnahme der magnetischen Kraft mit der Entfernung ist von Coulomb 1785 mit Hülfe der magnetischen Drehwage, welche eine ähnliche Einrichtung hat, wie die weiter unten (§. 126) zu beschreibende electrische Drehwage, nachgewiesen worden. — Zu denselben Resultaten gelangte Coulomb auch durch die Schwingungen einer kleinen Magnetnadel, welcher er den einen Pol eines Magnetstabes in verschiedenen Abständen gegenüber hielt. Es ist nehmlich klar, daß derselbe Körper um so rascher schwingen muß, je größer die seine Bewegung unterhaltende Kraft ist, und zwar gilt hierüber das nehmliche Gesetz, welches wir oben beim Pendel (§. 40) nachgewiesen haben, daß sich die Kräfte wie die Quadrate der Anzahlen der Schwingungen verhalten, welche derselbe Körper in gleichen Zeiten vollendet. — Coulomb ließ nun zunächst eine Magnetnadel ohne Einwirkung des Magnetstabes schwingen und fand, daß sie in der Minute 15 Schwingungen machte; hierauf hielt er den einen Pol eines Magnetstabes dem ungleichnamigen Pole der Nadel gegenüber, so daß der Pol des Stabes vom Mittelpunkte der Nadel 4 Zoll abstand, und fand, daß die Nadel jetzt 41 Schwingungen, und als er diesen Abstand bis auf 8 Zoll vergrößerte, 24 Schwingungen in der Minute vollendete. Hieraus ergab sich für die den Entfernungen 4 und 8 entsprechenden Kräfte das Verhältniß $41^2 - 15^2 : 24^2 - 15^2 = 1456 : 351$, welches nahe $= 4 : 1$ ist, während sich die Entfernungen wie $1 : 2$ verhielten.

Das Gesetz, daß die magnetische Kraft umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung abnimmt, gilt jedoch nur für die Einwirkung, welche zwei Magnetpole auf einander ausüben. Ist der Abstand der genäherten Pole zweier Magnete vielmal kleiner, als der Abstand der ferneren Pole, so ist die Wirkung, welche die letzteren hervorbringen, in Vergleich der gegenseitigen Einwirkung der ersteren unbedeutend. Dies ist jedoch nicht mehr der Fall, wenn zwei kleine Magnete sich in einem verhältnißmäßig großen Abstande von einander befinden. Nach Gauß nimmt dann die gesammte magnetische Wirkung umgekehrt wie der Cubus der Entfernung ab.

Die Drehwage oder die Schwingungsmethode kann auch dazu dienen, um die Vertheilung der anziehenden Kraft im Innern eines Magneten zu prüfen. Im letzteren Falle hält man einer schwingenden Magnetnadel verschiedene Querschnitte des zu prüfenden Magneten gegenüber und bemerkt die zu- oder abnehmende Zahl der in gleichen Zeiten vollendeten Schwingungen. Man findet so, daß die Pole nicht an den Enden selbst, sondern in einiger Entfernung von denselben liegen.

Eben so kann man sich dieser Methoden bedienen, um die Kräfte zweier Magnete mit einander zu vergleichen.

§. 105. Gesetz der magnetischen Anziehung und Abstoßung.

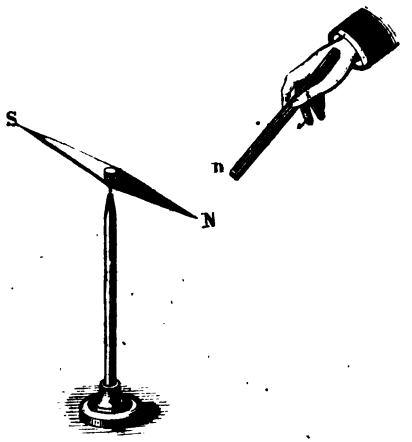
Der Magnet zieht nicht blos unmagnetisches Eisen an, sondern auch zwei Magnete üben eine Wirkung auf einander aus. Man beobachtet hierbei jedoch nicht blos Anziehung, sondern auch Abstoßung, wie man besonders bequem zeigen kann, wenn man dem einen oder anderen Ende einer Magnetnadel abwechselnd den einen oder anderen Pol eines Magneten nähert. Man wird dann folgendes Verhalten der Pole gegen einander wahrnehmen:

Nordpol und Nordpol stoßen sich ab;
Südpol und Südpol stoßen sich ab;
Nordpol und Südpol ziehen sich an.

Man kann diese Erscheinungen kurz in das Gesetz zusammenfassen: Die gleichnamigen Pole stoßen sich ab, die ungleichnamigen ziehen sich an. Man nennt daher auch wohl die ungleichnamigen Pole freundschaftliche, die gleichnamigen feindliche Pole.

Durch das angeführte Gesetz ist uns auch ein bequemes Mittel gegeben, den Magnetismus eines Körpers zu prüfen und zu untersuchen, welches sein Nordpol und welches der Südpol ist. Man hat nehmlich weiter nichts nöthig, als die Enden desselben den beiden Polen einer Magnetnadel in der Art, wie dies Fig. 99 zeigt, zu nähern.

(Fig. 99.)



Das Ende, welches den Nordpol der Magnetnadel abstößt, hat Nordmagnetismus, und das Ende, welches den Südpol abstößt, hat Südmagnetismus. Wenn aber ein zu prüfendes Eisen an allen Stellen anziehend auf beide Pole der Magnetnadel wirkte, so würde man hieraus schließen, daß dasselbe gar keinen (oder nur sehr schwachen) Magnetismus besäße.

Die Erscheinung, daß die Magnetnadel im Compaß, wenn sie sich frei bewegen kann, sich von selbst in eine solche Lage stellt, daß der eine Pol gegen Norden, der andere gegen Süden gerichtet ist, führt zu der Vermuthung, daß die Erde selbst magnetisch ist, wofür auch das Vorkommen magnetischer Eisenerze spricht. Da nun aber, wie wir so eben gesehen haben, ungleichnamige Pole sich anziehen, gleichnamige sich abstoßen, so muß hiernach die Erde im Norden einen Südpol, im Süden dagegen einen Nordpol haben.

Die Franzosen nennen daher den Pol der Magnetnadel, welcher nach Norden weist, Südpol, weil er mit dem südlichen Pole der Erde gleichen Magnetismus hat, und den nach Süden zeigenden Pol der Magnetnadel Nordpol.

Bei der Prüfung des Magnetismus eines Körpers durch Annäherung an eine Magnetnadel giebt die Anziehung des einen oder anderen Poles der Magnetnadel eine weniger sichere Entscheidung für das Vorhandensein eines ungleichnamigen Poles. Denn erstens ziehen auch ein Magnet und unmagnetisches Eisen sich an; zweitens kann es geschehen, daß durch die Einwirkung eines kräftigen Magneten die Pole eines schwächeren Magneten umgekehrt werden, und nun die Hälfte, welche ursprünglich Nordmagnetismus hatte, Südmagnetismus erhält, daher vom Nordpole angezogen wird, und eben so die früher südmagnetische Hälfte nun nordmagnetisch und vom Südpole angezogen wird. Dagegen kann die Abstoßung niemals einen Irrthum veranlassen.

§. 106. Gesetz der magnetischen Vertheilung oder Influenz.

Wenn man an den einen Pol eines kräftigen Magneten eine Nähnadel hängt, so wird sich an diese leicht noch eine zweite, an die zweite eine dritte u. s. f. hängen. Untersucht man die erste Nadel, nachdem man sie vom

Magneten abgenommen, auf die im vorhergehenden Paragraphen angegebene Weise, so findet man, daß dieselbe selbst magnetisch geworden ist und zwar, wenn sie am Nordpol aufgehängt war, so zeigt das Ende, mit welchem sie an dem Nordpole hing, Südmagnetismus, das entgegengesetzte Ende Nordmagnetismus. Hing aber die Nadel an dem Südpole eines Magneten, so hat das diesen Pol berührende Ende Nodmagnetismus, das entgegengesetzte Südmagnetismus erhalten. Ueberhaupt gilt das Gesetz: Wenn man in die Nähe eines Magnetpoles ein Stück Eisen bringt, so wird dieses selbst magnetisch, und zwar erhält das genäherte Ende den ungleichnamigen, das abgekehrte Ende den gleichnamigen Magnetismus.

Weiter folgt hieraus, daß es niemals eine andere magnetische Anziehung giebt, als zwischen den ungleichnamigen Polen zweier Magnete. Denn indem der Magnet unmagnetisches Eisen anzieht, ruft er in demselben zugleich Magnetismus hervor uud zwar der Nordpol in dem genäherten Ende eines Eisenstabes Südmagnetismus, der Südpol aber Nordmagnetismus, so daß also die magnetische Anziehung immer zwischen den entgegengesetzten Polen zweier Magnete stattfindet.

Der in dem Eisen bei der Annäherung an einen Magnetpol erzeugte Magnetismus wird in demselben nicht durch Mittheilung hervorgebracht; denn erstens verliert der Magnet nicht wesentlich an Kraft, so oft man auch den Versuch mit verschiedenen Stücken Eisen wiederholen mag; zweitens erhält das Eisen nicht blos den gleichnamigen Magnetismus, z. B. Nordmagnetismus, wenn man dasselbe an einen Nordpol gehängt hat, sondern beide Magnetismen; drittens erhält das Eisen gerade an dem genäherten Ende den entgegengesetzten Magnetismus.

Da das Eisen hiernach die beiden Magnetismen nicht durch Mittheilung erhalten haben kann, so scheint es am einfachsten, anzunehmen, daß dieselben schon ursprünglich in dem Eisen vorhanden waren. So lange das Eisen noch unmagnetisch war, hielten sich beide Magnetismen an jeder Stelle das Gleichgewicht; so wie aber das Eisen dem einen Pole, z. B. dem Nordpole eines Magneten genähert wurde, wurde das bisher bestandene Gleichgewicht aufgehoben, der Südmagnetismus angezogen, der Nordmagnetismus abgestoßen, und es erhielt nun der angezogene Südmagnetismus in der genäherten Hälfte, der abgestoßene Nordmagnetismus in der abgekehrten Hälfte das Uebergewicht. Man sagt daher, das Eisen sei nicht durch Mittheilung, sondern durch Vertheilung (oder Influenz) magnetisirt worden.

Ueberhaupt stellen wir in Uebereinstimmung mit den angeführten Erscheinungen folgende Sätze auf:

1) Im unmagnetischen Eisen sind eben so wohl, wie im magnetischen, beide Magnetismen, Nord- und Südmagnetismus, vorhanden.

2) Im unmagnetischen Eisen halten sich Nord- und Südmagnetismus an jeder Stelle das Gleichgewicht.

3) Im magnetischen Eisen hat in der einen Hälfte der Nordmagnetismus, in der andern der Südmagnetismus das Uebergewicht.

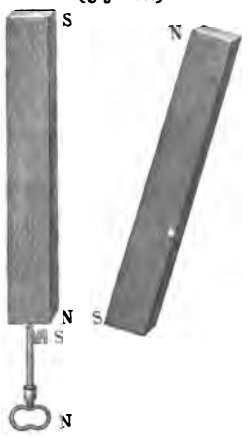
4) Der Nord- oder Südpol eines Magneten hebt in jedem in seine Nähe gebrachten Eisen das magnetische Gleichgewicht

auf und macht dasselbe magnetisch, indem der ungleichnamige Magnetismus angezogen, der gleichnamige aber abgestoßen wird.

§. 107. Fortsetzung.

Zur Bestätigung der am Ende des vorhergehenden Paragraphen aufgeführten Gesetze können folgende Versuche dienen: Legt man zwei Magnetstäbe mit ihren ungleichnamigen Polen an einander, so schwächen sie sich in ihren Wirkungen nach Außen oder heben sich ganz auf; denn was der eine anzieht, stößt gerade der andere ab. — Legt man dagegen die Magnetstäbe mit den gleichnamigen Polen an einander, so zeigen sie eine vermehrte Wirkung nach Außen, weil jetzt beide zusammenliegenden Pole das Nehmliche anziehen und abstoßen. — Auch folgender Versuch gehört hierher: Wenn man einen kleinen Schlüssel, Fig. 100, mit dem einen Ende an den Nordpol eines Magneten hängt, und dann seitwärts dem oberen Ende des Schlüssels den Südpol eines kräftigen Magneten nähert, so fällt der Schlüssel ab. Denn, indem der Schlüssel an dem Nordpole hängt, hat er an dem oberen Ende Südmagnetismus erhalten, welcher von dem Südpole des genäherten Magneten abgestoßen wird.

(Fig. 100.)



Aus diesen Versuchen ersieht man deutlich, daß ein Körper, in welchem beide Magnetismen an jeder Stelle in gleichem Maaße vorhanden sind, keine magnetischen Erscheinungen zeigen kann, sondern sich als unmagnetisch verhalten muß, da, was der eine Magnetismus anzieht, der andere eben so stark abstößt.

In Hinsicht der magnetischen Vertheilung, welche im unmagnetischen Eisen bei der Annäherung an einen Magnetpol hervorgerufen wird, zeigen weiches Eisen und hartes Eisen oder Stahl ein verschiedenes Verhalten. Im weichen Eisen wird der Magnetismus leichter hervorgerufen, aber er verschwindet auch eher wieder; in dem harten Eisen oder im Stahle wird der Magnetismus schwerer hervorgerufen, aber er ist auch von längerer Dauer. Man wird hieraus schließen können, daß das harte Eisen der Vertheilung seiner sich gegenseitig bindenden Magnetismen einen größeren Widerstand entgegensetzt, als das weiche Eisen. Man nennt diese der Vertheilung widerstrebende Kraft die Coercitivkraft.

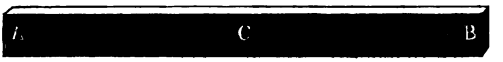
Diese Kraft wird leichter überwunden, wenn das dem Einflusse eines Magnetpoles unterworfene Eisen eine Erschütterung erfährt. So erhält z. B. ein Eisenstab, welcher sich zwischen den ungleichnamigen Polen zweier Magnete befindet, kräftigeren Magnetismus, wenn man denselben mit einem harten Körper reibt.

§. 108. Magnetisirung des Stahles.

Das gewöhnliche Mittel, um im Eisen dauernden Magnetismus hervorzurufen, ist das Bestreichen mit einem kräftigen Magneten. Man unterscheidet einfachen und doppelten Strich.

Beim einfachen Striche setzt man den einen Pol eines Magneten auf die Mitte C des zu magnetisirenden Stabes AB, Fig. 101, streicht nach dem einen Ende B hin und hebt hier auf; dieses wiederholt man mehrmals, indem man immer in der Mitte aufsetzt und in derselben Richtung, aber niemals rückwärts, streicht. Eben so behandelt man auch die andere Hälfte AC mit dem entgegengesetzten Pole, indem man immer von C nach A hin streicht. Kräftiger und gleichförmiger wird der Magnetismus in dem zu magnetisirenden Stabe erregt, wenn man zu gleicher Zeit zwei Magnete von ohngefähr gleicher Stärke mit den ungleichnamigen Polen in der Mitte C so aufsetzt, daß sie unter spitzen Winkeln (etwa 20^0) nach entgegengesetzten Seiten geneigt sind, dann gleichmäßig nach den beiden Enden A und B hinstreicht und diese Operation einige Male wiederholt. Die beiden Hälften des magnetisirten Stabes erhalten die Pole, welche denen entgegengesetzt sind, mit denen sie bestrichen sind.

(Fig. 101.)

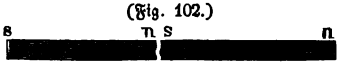


Beim doppelten Striche bedient man sich am bequemsten eines hufeisenförmigen Magneten. Man setzt diesen auf die Mitte des zu magnetisirenden Stabes auf und streicht nun nach beiden Enden hin, sowohl vorwärts, als rückwärts, und hebt endlich in der Mitte auf.

Welches Verfahren man aber auch anwenden mag, immer erhält das zu magnetisirende Eisen beide Magnetismen zugleich; niemals ist es möglich, einen Magneten herzustellen, welcher nur den einen Magnetismus, Nord- oder Südmagnetismus, allein enthielte.

Wenn man einen Magnetstab (z. B. eine magnetisirte Stricknadel) in der Mitte durchbricht, so enthält die eine Hälfte nicht bloß Nord-, die andere Südmagnetismus, sondern jede von beiden Hälften stellt einen vollständigen Magneten mit zwei Polen dar, indem die ursprünglich getrennten Enden ihre Pole behalten, die vorher vereinigten Enden dagegen die entgegengesetzten Pole bekommen. Legt man die Hälften wieder zusammen, so stellt das Ganze, Fig. 102, wieder einen Magneten dar, welcher an einem Ende einen Nordpol, am anderen Ende einen Südpol und in der Mitte eine indifferente Stelle hat, indem sich die zusammenliegenden entgegengesetzten Pole in ihrer Wirkung nach Außen gegenseitig aufheben.

(Fig. 102.)



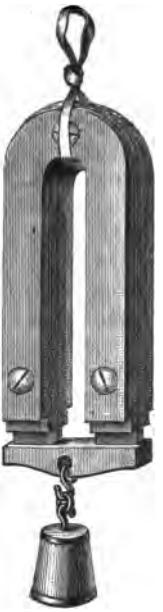
Einen hufeisenförmigen Stahlstab magnetisirt man am bequemsten mit einem hufeisenförmigen Magneten, welcher mit demselben gleiche Breite hat. Man legt vor den Stahlstab einen Anker aus weichem Eisen, setzt den Magneten auf die Enden des Stahlstabes und streicht acht- bis zehnmal von da bis über den Bogen hinaus, oder umgekehrt, man setzt an dem Bogen auf und streicht gegen die Enden hin. Im ersten Falle erhalten die Schenkel des magnetisirten Stahlstabes mit dem Streichmagneten gleichnamige, im letzten ungleichnamige Pole. — Stahlstäbe kann man auf die Art magnetisiren, daß man deren zwei in dem Abstande der Pole des Streichmagneten parallel neben einander und vor die Enden derselben einen Anker legt und dann in der angegebenen Weise streicht.

§. 109. Verstärkung und Schwächung der magnetischen Kraft.

Um Stahlmagnete zum Tragen einzurichten, giebt man ihnen gewöhnlich die Form eines Hufeisens, Fig. 103; die beiden Enden desselben tragen nun

zunächst einen Anker von weichem Eisen, an welchem man vermittelst eines Hakens ein Gewicht hängt. Indem so beide Pole zugleich vertheilend auf die Magnetismen des Ankers aus weichem Eisen wirken, vermögen sie bedeutend mehr als das Doppelte von dem zu tragen, was jeder allein zu tragen im Stande ist. Gute Hufeisenmagnete vermögen das zehn- bis zwanzigfache ihres eigenen Gewichtes zu tragen. Kleine Magnete tragen in der Regel verhältnißmäßig mehr, als große.

(Fig. 103.)



Wenn man einen Stahlstab nach einer der im vorhergehenden Paragraphen angegebenen Methode magnetisirt, so nimmt zwar die magnetische Kraft in demselben bei wiederholten Streichen mit den Polen eines kräftigen Magneten zu; sie erreicht jedoch bald eine Grenze, über welche sich dieselbe nicht weiter steigern läßt. Dieser stärkste Magnetismus, welchen ein Stahlstab überhaupt anzunehmen vermag, bleibt demselben jedoch nicht dauernd, sondern vermindert sich mehr oder weniger rasch bis auf eine gewisse Stärke, welche dann Jahre lang ziemlich unverändert dieselbe bleibt und die magnetische Sättigung genannt wird.

Dieser Punkt der Sättigung, die Stärke des Magnetismus, welchen ein Stahlstab dauernd beibehält, hängt von der Beschaffenheit des Stahles ab und liegt im Allgemeinen um so höher, je härter der angewendete Stahl ist.

Hat man ein Hufeisen bis über die Sättigung magnetisirt und vermehrt die an dem vorgelegten Anker angehängte Last, bis dasselbe abgerissen wird, so vermag der Magnet nicht mehr dies frühere Gewicht zu tragen. Ueberhaupt wird durch wiederholte Erschütterungen die Kraft eines Magneten, selbst bis unter die Sättigung hinab geschwächt.

Die Kraft eines Magneten wird ferner durch Erwärmen vermindert; sie wird zerstört durch Glühen. Ein lebhaft glühender Eisenstab wird sogar von einem Magneten nicht mehr angezogen und verhält sich gegen denselben gänzlich indifferent.

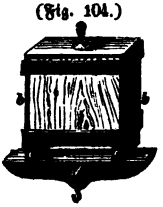
Wenn in einem bei gewöhnlicher Temperatur magnetisirten Stahlstabe die magnetische Kraft durch Erwärmen bis auf einen gewissen Punkt vermindert worden ist, so nimmt sie bei der Rückkehr zu der früheren Temperatur wieder etwas zu. — Auch durch Erkalten wird die Kraft eines bei höherer Temperatur magnetisirten Stabes etwas geschwächt, wie neuere Untersuchungen von Düfour und Wiedemann (1856 u. 57) gezeigt haben.

Die Erscheinung, daß das Eisen, über einen gewissen Temperaturgrad erwärmt, seine magnetischen Eigenschaften verliert und nur unterhalb einer bestimmten Temperatur auf einem Magneten einwirkt und selbst magnetisch wird, hat zu der Vermuthung geführt, daß es auch für alle anderen Körper, welche bei der gewöhnlichen Lufttemperatur vom Magneten nicht angezogen werden, eine gewisse, vielleicht sehr tief liegende Temperatur giebt, unterhalb deren sie sich gegen den Magnetismus wie Eisen verhalten würden. Versuche, welche mit verschiedenen Körpern in künstlicher Kälte angestellt worden sind, haben jedoch bis jetzt noch zu keinem Resultate geführt, vielleicht weil es hierzu einer noch niedrigeren Temperatur bedurft hätte, als sich auf künstlichem Wege herstellen ließ. Umgekehrt hat man dagegen gefunden, daß die magnetische Grenztemperatur für Kobalt noch über der Weißglühhitze liegt, bei Nickel dagegen schon ohngefähr bei 350° erreicht wird.

Um natürliche Magnete zum Tragen einzurichten, dient die Armirung. Man befestigt nehmlich an den beiden Polen des natürlichen Magneten, Fig. 104, Platten bb

aus weichem Eisen, welche unten in dickere Füße cc auslaufen, vor welche man einen Anker d legen kann. Zu Folge des Gesetzes der magnetischen Vertheilung erhält jede Platte den entgegengesetzten, der Fuß aber den nehmlichen Pol, welchen der Magnet selbst an der Seite hat, an welche die Platte angelegt ist.

(Fig. 104.)



In dem Taylor'schen Museum befindet sich ein natürlicher Magnet, welcher nebst der Armirung und dem Gehäuse 307 Pfund wiegt und mehr als 250 Pfund trägt.

Da, wie schon oben bemerkt, dünne Stahlstücke sich verhältnißmäßig stärker, als dicke magnetisiren lassen, so pflegt man, um kräftige künstliche Magnete herzustellen, mehrere Magnetstäbe mit ihren gleichnamigen Polen an einander zu legen. Man nennt ein solches Bündel Stäbe ein magnetisches Magazin. Soll dasselbe zum Tragen dienen, so giebt man ihm die Hufeisenform, wie dies Fig. 103 darstellt.

Unter den von dem Mechaniker Häcker in Nürnberg angefertigten Magneten trägt ein Magnet, welcher ein Gewicht von 1 Loth hat, das 32fache, ein 1 Pfund schwerer das 12fache und ein 40 Pfund schwerer nicht ganz das 4fache seines eigenen Gewichtes. — Diese ausgezeichneten Leistungen werden noch übertroffen durch einen von Logeman in Harlem angefertigten Magneten, welcher nicht ganz 1 Pfund wog und 26 Pfund trug.

Die kräftigsten Magnete jedoch, welche mehrere tausend Pfund zu tragen vermögen, werden, wie wir weiter unten (§. 154) zeigen werden, durch die Einwirkung des electrischen Stromes erhalten.

*§. 110. Diamagnetismus.

Wir haben schon oben (in §. 104) gesehen, daß außer dem Eisen auch noch die Metalle Nickel und Kobalt magnetisch werden können. Von sehr kräftigen Magneten (besonders von Electromagneten) erleiden außerdem noch mehrere Metalle (Mangan, Chrom, Palladium, Platin, Cerium, Osmium und Titan) und verschiedene nicht metallische Substanzen (z. B. Flußspath, Graphit, Holzkohle, manche Sorten Papier und Siegellack) eine schwache Anziehung. Dasselbe gilt in der Regel auch von den chemischen Verbindungen des Eisens, Nickels, Kobalts und der so eben angeführten Körper.

Im Jahre 1845 machte Faraday in England, welchem die Wissenschaft in neuerer Zeit die großartigsten Fortschritte verdankt, die merkwürdige Entdeckung, daß solche Substanzen, welche der Magnet nicht anzieht, von demselben abgestoßen werden, und daß hierbei beide Pole eine gleiche abstoßende Wirkung ausüben. Faraday nannte diese Körper zum Unterschiede von den magnetischen, d. h. von denjenigen, auf welche der Magnet anziehend wirkt, diamagnetische. Dergleichen Körper sind z. B. sämmtliche, oben nicht genannte, bekannte Metalle (nehmlich mit abnehmender Wirkung Wismuth, Spießglanz, Zink, Zinn, Queckfilber, Blei, Kupfer, Silber, Gold); ferner zeigten sich als mehr oder weniger diamagnetisch Bergkrystall, Wasser, Spiritus, Phosphor, Schwefel, Holz, Brod, Fleisch u. a. m.

Um das magnetische oder diamagnetische Verhalten eines Körpers zu prüfen, verfährt man nach Faraday am einfachsten in folgender Art: Wenn man ein Eisenstäbchen an einem ungedrehten Seidenfaden in wagerechter Lage zwischen den Polen eines kräftigen hufeisenförmigen Magneten aufhängt, so stellt sich dasselbe in eine parallele Richtung mit der Linie, welche die beiden Pole verbindet, axial. Die nehmliche Lage nehmen auch Stäbchen aus allen anderen Substanzen, welche vom Magnet angezogen werden, an, wenn sie in der angegebenen Art aufgehängt werden; besteht aber ein Stäbchen aus einer diamagnetischen Materie, so stellt sich dasselbe in eine auf die axiale Linie senkrechte Richtung, äquatoreal.

Wenn man ein Kügelchen aus Wismuth oder einer anderen Substanz, welche stark diamagnetisch ist, an einem Seidenfaden aufhängt und den Polen eines sehr kräftigen Magneten nähert, so sieht man deutlich, daß es von beiden Polen abgestoßen wird.

Um flüssige Substanzen zu prüfen, werden dieselben in ein Röhrchen aus dünnem Glase eingeschlossen, welches für sich allein nur eine sehr schwache diamagnetische Wirkung giebt, so daß sich in der Regel die Einwirkung der Magnetpole auf die Flüssigkeit von der auf das Röhrchen leicht unterscheiden läßt.

Ueber das magnetische Verhalten der Gase sind (1851) von Plücker in Bonn entscheidende Versuche angestellt worden. Die Gase wurden in eine dünne gläserne Kugel gebracht, auf welche die Pole eines kräftigen Electromagneten, wenn die Kugel ganz leer war, keine wahrnehmbare Wirkung ausübten. War die Kugel mit Sauerstoffgas gefüllt, so wurde sie von den Magnetpolen angezogen. Sauerstoffgas ist folglich magnetisch. Die Stärke der Anziehung war bis zu dem Drucke von zwei Athmosphären der Dichte des in der Kugel enthaltenen Sauerstoffgases proportional. Stickstoffgas, kohlensaures Gas und einige andere Gase zeigten unter gleichen Umständen keine wahrnehmbare Wirkung. Wasserstoffgas wurde dagegen von den Magnetnadeln abgestoßen und ist folglich diamagnetisch. Atmosphärische Luft, als ein Gemenge von Sauerstoffgas und Stickstoffgas, erwies sich magnetisch. Die Anziehung war ziemlich nahe der Menge des in der Luft enthaltenen Sauerstoffgases proportional.

Da die Luft entschieden magnetisch ist, so müssen in derselben frei bewegliche, unmagnetische oder schwächer magnetische Gase und Dämpfe von den Polen eines kräftigen Magneten durch die angezogene und zuströmende Luft weggedrängt werden. Dasselbe muß, da die magnetische Anziehung der Luft mit ihrer Dichte zunimmt, auch von wärmerer, also dünnerer Luft, welche sich in kälterer, also dichterer Luft befindet, gelten. Es erklärt sich hieraus die Erscheinung, daß eine Lichtflamme oder der Rauch eines glimmenden Wachsstockes von den Polen eines kräftigen Magneten scheinbar abgestoßen wird.

Nach den in den Jahren 1849—52 von Plücker angestellten Untersuchungen erhält ein Wismuthstäbchen in der Nähe kräftiger Magnetpole die entgegengesetzten Pole von denen, welche unter gleichen Umständen im Eisen hervorgerufen werden. Aehnliches ist der Fall, wenn das Wismuthstäbchen von einer Drathspirale umgeben ist, durch welche ein electrischer Strom geleitet wird. (Vergl. unten §. 154.)

Noch bemerken wir in Beziehung auf die Lage, welche zwischen den Polen eines Magneten aufgehängte magnetische oder diamagnetische Substanzen einnehmen, daß nach den Untersuchungen von Plücker, Faraday u. A. die Richtung derselben nicht allein von der Gestalt derselben abhängt, sondern durch die Lage der Krystallaxen dieser Substanzen bedingt wird. Wir können jedoch hierauf nicht näher eingehen und brechen überhaupt von den diamagnetischen Erscheinungen ab, da man ihre Ursache, so wie auch ihren Einfluß auf die Naturerscheinungen im Großen gegenwärtig noch nicht kennt. — Wir wenden uns nun zu der näheren Erörterung der durch den Erdmagnetismus bedingten Erscheinungen.

§. 111. Magnetismus, durch die Lage hervorgerufen.

Wenn man einem aufrecht stehenden Stabe von Eisen, z. B. der senkrechten Stange eines Fensterkreuzes, am unteren Ende eine empfindliche Magnetnadel nähert, so findet man, daß das Nordende der Nadel abgestoßen, das Südende angezogen wird, während das obere Ende des Eisens die entgegengesetzte Erscheinung zeigt. Das aufrecht stehende Eisen ist also magnetisch und hat an seinem unteren Ende einen Nordpol, am oberen einen Südpol. An einem Stabe aus weichem Eisen treten diese Erscheinungen

augenblicklich hervor, so wie man denselben in die senkrechte Lage bringt; das untere Ende zeigt sogleich Nord-, das obere Südmagnetismus, und so wie man den Stab umkehrt, kehren sich auch auf der Stelle seine Pole um.

Am harten Eisen oder Stahl zeigen sich die angeführten Erscheinungen weniger deutlich; es bedarf bei diesen wegen der größeren Coercitivkraft eines längeren Beharrens in der senkrechten Lage, um die magnetische Vertheilung zu bewirken.

Fragt man nach dem Grunde dieser Erscheinungen, so wird man denselben wohl nirgends anders, als in dem Magnetismus der Erde suchen können. Da eine aufrecht stehende Eisenstange am unteren Ende einen Nordpol, am oberen einen Südpol erhält, so folgt hieraus, daß in unseren Gegenden der Südmagnetismus der Erde über den Nordmagnetismus das Uebergewicht hat, und daß wir uns also dem magnetischen Südpole der Erde näher, als dem Nordpole befinden.

Die senkrechte Lage ist jedoch nicht die einzige, in welcher der Erdmagnetismus seine vertheilende Wirkung auf das Eisen ausübt; vielmehr findet diese Wirkung fast in allen Lagen, jedoch mit verschiedener Stärke statt. In den folgenden Paragraphen, in denen wir uns specieller mit der magnetischen Kraft der Erde beschäftigen werden, werden wir auch die Lagen näher bestimmen, in welchen der Erdmagnetismus auf einen Eisenstab am stärksten, und in welchen er gar nicht vertheilend einwirkt.

Die vertheilende Wirkung des Erdmagnetismus auf ein hartes Eisen wird befördert durch Schlagen, Hämmern, Feilen u. dgl. Auf diese Art geschieht es häufig, daß Geräthschaften von Stahl magnetisch werden, ohne daß man die Absicht hat, ihnen Magnetismus zu ertheilen.

Auch durch die Wärme kann die magnetische Vertheilung befördert werden. Taucht man einen rothglühenden Stahlstab in senkrechter Stellung in kaltes Wasser, so erhält derselbe am unteren Ende Nord-, am oberen Ende Südmagnetismus.

Bringt man mehrere Nähnadeln auf der Oberfläche des Wassers zum Schwimmen, so wird man fast immer einige antreffen, welche so stark magnetisch sind, daß sie von selbst eine Lage von Norden nach Süden annehmen.

Durch den Erdmagnetismus erhält man auch ein Mittel, sich einen Magneten zu verschaffen, ohne schon vorher im Besitz eines natürlichen oder künstlichen Magneten zu sein. Man bringt nehmlich den zu magnetisirenden Stahlstab in die senkrechte Stellung und übt dann auf das obere Ende einige Schläge mit einem Hammer aus. Noch vortheilhafter ist es, wenn man hierbei den Stahlstab mit seinem unteren Ende auf eine Masse von weichem Eisen stützt.

§. 112. Magnetische Abweichung.

Wie wir bereits oben gesehen haben, zeigt das Nordende der Magnetnadel nicht genau nach Norden, sondern weicht (in unseren Gegenden), ohngefähr 16^0 gegen Westen ab. Man unterscheidet hiernach *magnetisches* und *geographisches Norden*. Eine Ebene, welche durch die beiden Pole einer Magnetnadel und durch den Mittelpunkt der Erde geht, wird der *magnetische Meridian* genannt, zum Unterschiede von dem geographischen Meridian, welcher durch die Pole der Erde geht. Der Winkel, welchen der magnetische Meridian mit dem geographischen Meridian bildet, (oder, was dasselbe sagen will, der Winkel, um welchen die Axe der Magnetnadel von der Mittagslinie abweicht,) heißt *die magnetische Abweichung* oder *Declination*.

Die magnetische Abweichung ist für verschiedene Orte der Erdoberfläche verschieden. In ganz Europa, mit Ausnahme eines kleinen Theiles von Rußland, weicht das Nordende der Magnetnadel vom geographischen Norden gegen Westen ab. Im Allgemeinen ist die westliche Abweichung im Westen Europa's größer, als im Osten*).

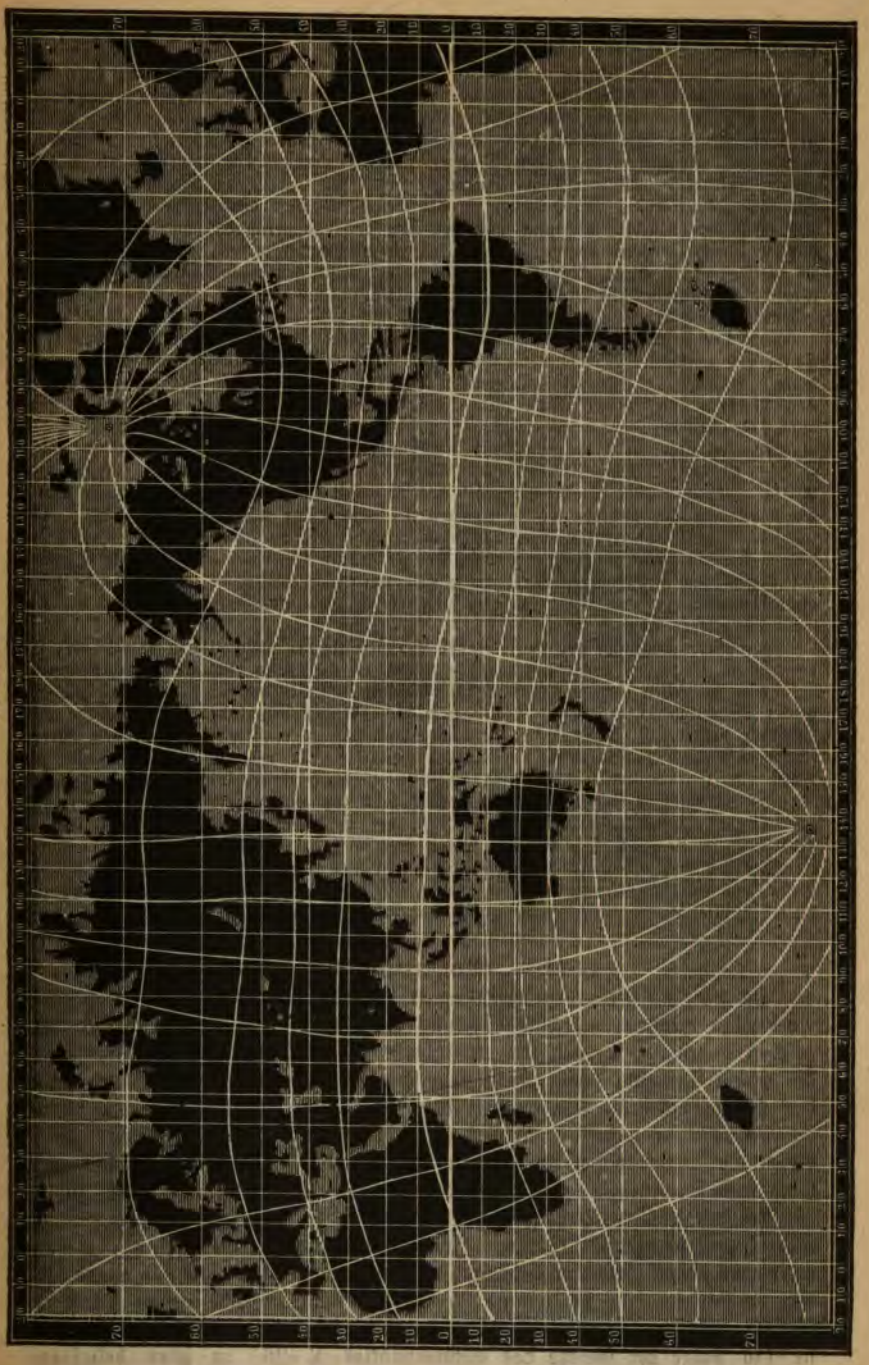
Wenn man die magnetischen Meridiane der Erde bis zu ihrem Durchschnitte auf der Erdoberfläche verlängert, so durchschneiden sich dieselben keineswegs, wie die geographischen Meridiane, sämmtlich in den nehmlichen beiden Punkten. Eine solche Convergenz verschiedener magnetischer Meridiane in demselben Punkte findet nur in der Nähe gewisser Stellen der Erdoberfläche statt, welchen man deshalb den Namen magnetischer Convergenzpunkte oder Pole gegeben hat. Der eine dieser Convergenzpunkte, dessen Lage vorzüglich Hansteen in Christiania durch sorgfältige Vergleichung der im nördlichen Amerika angestellten Beobachtungen zu ermitteln gesucht hat, ist seitdem nahe übereinstimmend mit Hansteen's Angaben in der Nähe der Repulsebay (ohngefähr in 70° nördl. Breite und 97° westl. Länge von Greenwich) durch den Seefahrer Roß im Jahre 1831 wirklich aufgefunden worden. Als man diesen Pol umfuhr, machte auch die Magnetnadel einen vollständigen Umlauf und wies jederzeit gegen denselben hin, so daß, als man sich nördlich von diesem Pole befand, das Ende, welches in unseren Gegenden nach Norden zeigt, sich gegen Süden wendete. In der unmittelbaren Nähe des Poles selbst hatte die Magnetnadel ihre Richtkraft gänzlich verloren; sie zeigte erst in der Entfernung mehrerer Meilen vom Pole wieder das Bestreben, eine bestimmte Lage anzunehmen.

Ein zweiter Convergenzpunkt oder Magnetpol findet sich in der südlichen Erdhälfte im Süden der Ostküste Neuhollands, und ist ebenfalls durch Roß, welcher sich demselben sehr näherte, jedoch ohne ihn ganz zu erreichen, näher bestimmt worden. (75° südl. Breite und 154° östl. Länge.) Die beiden Pole liegen einander jedoch nicht diametral gegenüber; (sie sind nicht um 180°, sondern um einen Bogen von 161° eines durch dieselben gelegten größten Kreises von einander entfernt).

In Gegenden der Erdoberfläche, welche von den angegebenen Polen weit entfernt sind, weist jedoch die Magnetnadel nicht mehr, so wie in der Nähe derselben, gerade auf die Pole hin, der verlängerte magnetische Meridian durchschneidet die Pole nicht. Die in Fig. 105 abgebildete Charte giebt für das Jahr 1825 (außer den magnetischen Parallelen, von denen weiter unten, §. 113, die Rede sein wird) die Lage der beiden Convergenzpunkte und den Lauf derjenigen Linien an, auf welchen man, wenn man immer der Richtung der Magnetnadel folgte, zuletzt nach dem einen oder andern Convergenzpunkte hingelangen würde. Diese Linien sind nicht, wie die geographischen Meridiane, Kreise, sondern Linien von eigenthümlicher Krümmung.

Die Resultate der an den verschiedenen Stellen der Erdoberfläche angestellten Beobachtungen der magnetischen Declination sind zum Theil so verwickelt und räthselhaft, daß sie sich weder durch die Annahme eines im Innern der Erde befindlichen Magneten, noch durch die Annahme von zwei magnetischen Axen, wie dieses Hansteen versucht hat, genügend erklären lassen.

*) Die westliche Abweichung beträgt für London ohngefähr 23°, für Brüssel 20°, für Göttingen 17°, für Berlin 16°, für Wien 13°, für Petersburg 6°, für Moskau 3° u. s. w



(Fig. 105.)

Da die auf einer Spitze ruhende Magnetnadel in ihrer freien Beweglichkeit durch die Reibung zu sehr beeinträchtigt wird, so wendet man zur genauen Beobachtung der Declination das von Gauß angegebene Magnetometer an, welches im Wesentlichen aus einem größeren Magnetstabe besteht, welcher in eine Hülse von Messing eingeschoben ist, die an einem feinen, an der Decke des Beobachtungssales befestigten Faden aufgehängt ist. An dem Magnetstabe ist senkrecht zur Axe desselben ein kleiner Spiegel angebracht, und diesem gegenüber in angemessener Entfernung ein kleines Fernrohr aufgestellt. Ueber oder unter dem Fernrohr befindet sich irgend eine Marke. Wenn nun das Spiegelbild dieser Marke genau in der Mitte des Fernrohrs erscheint, so hat die Axe desselben einerlei Richtung mit der Axe des Magnetstabes, und man hat also, um die Größe der magnetischen Declination zu erfahren, nur noch nöthig, den Winkel zu messen, welchen die Axe des Fernrohrs mit dem geographischen Meridian bildet, was durch astronomische Beobachtung zu erhalten ist, auf die wir hier nicht näher eingehen können. Vergl. übrigens unten §. 192.

Orte der Erdoberfläche, welche dieselbe magnetische Abweichung haben, werden isogonische genannt. Verbindet man dieselben durch zusammenhängende Linien, so erhält man isogonische Linien. Diejenigen Punkte, auf welchen die Magnetnadel gerade nach Norden und Süden zeigt, bilden die Linie ohne Abweichung. Diese geht durch die beiden geographischen Pole und durch die beiden oben näher angegebenen magnetischen Pole der Erde und theilt die Erdoberfläche in zwei Hälften. Auf der einen Hälfte, zu welcher die östlichen Theile Amerika's, der atlantische Ocean, Europa und Afrika gehören, weicht die Magnetnadel überall gegen Westen vom geographischen Meridiane ab; auf der anderen Hälfte dagegen, zu welcher fast ganz Asien, der stille Ocean und der größte Theil von Amerika gehört, findet östliche Abweichung statt, mit der höchst merkwürdigen Ausnahme jedoch, daß innerhalb dieser letzten Hälfte im östlichen Asien und den benachbarten Meeren sich eine zweite, in sich selbst zurücklaufende Linie ohne Abweichung findet, und in dem von dieser Linie umschlossenen Raume die Abweichung wieder westlich ist.

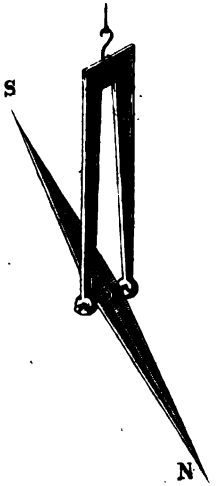
Zu näherer Kenntniß der verschiedenen Verhältnisse der magnetischen Abweichung für verschiedene Gegenden der Erde haben zunächst die von dem Engländer Hallei ausgeführten Seereisen und magnetischen Beobachtungen (1700) geführt. — Da, wie wir weiter unten sehen werden, die Declination auch für den nehmlichen Ort der Erde nicht beständig dieselbe ist, sondern sich fortwährend ändert, so müssen die isogonischen Curven für verschiedene Perioden sich verschieden gestalten. Hansteen in Christiania hat zuerst (1819) für die Jahre 1600, 1700 und 1800 isogonische Charten gezeichnet. Dergleichen Charten sind besonders für Seefahrer von großer Wichtigkeit; dagegen sind sie weniger geeignet, ein anschauliches Bild der Verhältnisse des Erdmagnetismus zu gewähren, da sie zugleich von einem diesem fremdartigen Elemente, der Lage der Rotationsaxe der Erde, abhängen. Die isogonischen Linien würden eine gänzlich verschiedene Gestaltung erhalten, wenn man sich denkt, daß alle Verhältnisse des Erdmagnetismus dieselben blieben, aber die Rotationsaxe der Erde eine andere Lage hätte.

§. 113. Magnetische Neigung.

Da wir das Bestreben der Magnetnadel, sich mit dem einen Pole gegen Norden zu wenden, als eine Wirkung der magnetischen Kraft der Erde angesehen haben, so werden wir auch leicht zu der Vermuthung geführt, daß die wahre Richtung dieser Kraft keine horizontale sein könne, sondern gegen den Horizont geneigt sein müsse. Um dieses außer Zweifel zu setzen, können die Beobachtungen des Compasses oder der Bouffole nicht genügen, da in diesen die Magnetnadel sich nur in horizontaler Richtung drehen kann, also keine freie Beweglichkeit hat. Dagegen werden wir uns leicht von der Richtigkeit der aufgestellten Behauptung durch die in Fig. 106 abgebildete einfache Vorrichtung überzeugen können. In einem Rahmen von Messing, welcher an einem feinen Faden aufgehängt ist, ist eine Nadel von Stahl so angebracht, daß sie sich um eine horizontale Axe drehen kann, welche genau durch den Schwerpunkt der Nadel geht. So lange die Nadel unmagnetisch ist, ruht sie (zu Folge der Gesetze des Schwerpunktes §. 26) in jeder beliebigen,

sowohl in der horizontalen, als in einer gegen den Horizont geneigten Lage. Wenn man aber die Nadel magnetisirt, so stellt sie sich von selbst in die Ebene des magnetischen Meridians und nimmt hier eine schiefe Lage an, indem das Nordende der Nadel sich senkt und die Axe der Nadel mit dem Horizonte in unseren Gegenden ohngefähr einen Winkel von 66° bildet. Bringt man die Nadel aus dieser Lage, so kehrt sie nach einigen Schwingungen von selbst in diese Lage zurück.

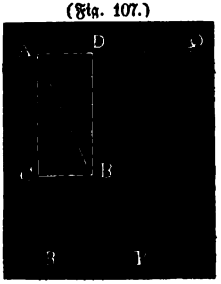
(Fig. 106.)



Der Winkel, welchen die Axe einer frei beweglichen Magnetnadel mit dem Horizonte macht, wird die magnetische Neigung oder Inclination genannt. Eine Nadel, welche dazu bestimmt ist, die magnetische Neigung zu messen, heißt Inclinationsnadel, während die zur Bestimmung der magnetischen Abweichung dienenden Nadeln Declinationsnadeln genannt werden.

Da, wie wir gesehen haben, die wahre Richtung, in welcher die magnetische Kraft wirkt, gegen den Horizont geneigt ist, so ist klar, daß die Declinationsnadel nur durch einen Theil dieser Kraft sollicitirt wird. Man findet diesen Theil, wenn man sich die Kraft des Erdmagnetismus (AB, Fig. 107) in zwei Seitenkräfte zerlegt denkt, von denen die eine (AC) eine senkrechte, die andere (AD) eine horizontale Richtung hat. Dieser letztere Theil ist es allein, welcher auf die Declinationsnadel einwirkt*).

(Fig. 107.)



Weiter ist nun klar, daß der Erdmagnetismus auf einen Stab von Eisen seine vertheilende Kraft am stärksten ausüben wird, wenn man den Stab in eine der Inclinationsnadel parallele Lage bringt, und daß diese Wirkung ganz aufhören muß, wenn die Richtung des Stabes auf der Richtung der Inclinationsnadel senkrecht ist. Da in unseren Gegenden die Richtung des Erdmagnetismus von der senkrechten Linie nur ohngefähr um einen Winkel von 24° abweicht, so sieht man leicht ein, warum auch auf senkrecht stehendes Eisen der Erdmagnetismus eine sehr kräftige Wirkung ausübt.

Die magnetische Neigung ist eben so, wie die Abweichung, für verschiedene Orte der Erdoberfläche sehr verschieden **). Sie wächst im Allgemeinen, wenn man sich dem im nördlichen Amerika gelegenen Pole nähert, und als

*) Ist die Kraft des Erdmagnetismus AB = P und die magnetische Neigung BAD = α, so ist dieser Theil Q = AD = P cos α. Dagegen zeigt der andere Theil R = AC = P sin α die Wirkung an, welche der Erdmagnetismus in senkrechter Richtung ausübt.

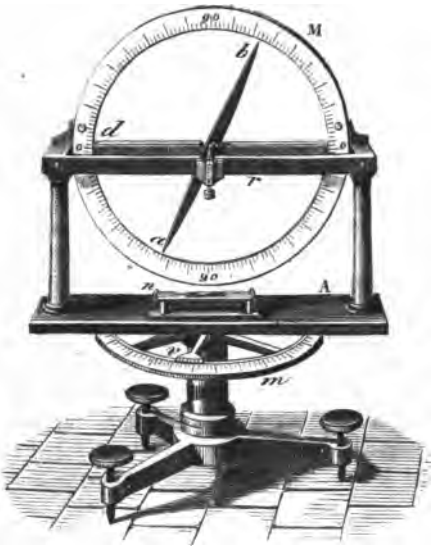
**) Die Neigung beträgt für Petersburg ohngefähr 70°, für Berlin und Göttingen 67°, für Wien 64°, für Malta 53°, für Alexandrien 44°, für Mokka in Afrika 7° nördlich, für St. Helena 22°, für das Vorgebirge der guten Hoffnung 53° südlich.

Roß diesen Pol selbst erreicht hatte, stand die Inclinationsnadel senkrecht; die Neigung war also hier = 90°. Mit der Entfernung vom Pole nimmt die Neigung im Allgemeinen ab, und in der Nähe des geographischen Aequators giebt es Orte, wo die Inclinationsnadel wagerecht schwebt, die Neigung also gleich Null ist. Eine zusammenhängende Linie, welche durch alle diese Orte der Erdoberfläche geht, wird der magnetische Aequator der Erde genannt *). Der magnetische Aequator ist jedoch nicht, wie der geographische Aequator, ein größter Kreis, sondern eine unregelmäßig gekrümmte Linie; er durchschneidet den geographischen Aequator in zwei einander nicht genau gegenüberliegenden Punkten, von denen der eine an die Westküste von Afrika, der andere in den stillen Ocean, ohngefähr in die Mitte zwischen Asien und Amerika fällt. Von den beiden ungleichen Hälften, in welche der magnetische Aequator durch den geographischen getheilt wird, liegt die durch Afrika und Asien gehende nördlich, die andere aber durch Südamerika gehende Hälfte südlich von dem geographischen Aequator; die erstere entfernt sich von demselben bis auf ohngefähr 12°, die letztere bis auf 14°.

In denjenigen Gegenden der Erde, welche nördlich vom magnetischen Aequator gelegen sind, ist das Nordende der Inclinationsnadel unter den Horizont geneigt; geht man dagegen südlich über den magnetischen Aequator hinaus, so senkt sich das Südende der Magnetnadel, und zwar im Allgemeinen um so mehr, je mehr man sich dem südlichen Pole nähert.

Die in Fig. 105 abgebildete Charte zeigt den Lauf des magnetischen Aequators und derjenigen Linien, welche durch die Orte gleicher magnetischer Neigung geht, der sogenannten isogonischen Linie. In der Nähe des magnetischen Aequators sind diese Linien demselben fast parallel; in der Nähe der magnetischen Convergenzpunkte sind sie mit der hohlen Seite gegen diese gewendet.

(Fig. 108.)



Zur Abmessung der magnetischen Neigung dient das Inclinatorium, Fig. 108. Dasselbe besteht aus einer Magnetnadel ab, welche sich um eine durch ihren Schwerpunkt gehende Axe c dreht und über einem vertikalen Kreise M spielt. Die Axe der Nadel ruht auf dem Rahmen r, welcher an dem Gestell A befestigt ist. Dieses läßt sich vermittelst des Armes v um den Mittelpunkt des eingetheilten Kreises m in wagerechter Richtung drehen. Die Röhrenlibelle n und drei Stellschrauben dienen zur horizontalen Stellung dieses Kreises. Bei einer jeden Abmessung der Inclination wird

*) Zuweilen spricht man auch von dem magnetischen Aequator eines Beobachtungsortes und versteht hierunter eine auf der Richtung der Inclinationsnadel senkrechte Ebene. Dieselbe ist in so fern merkwürdig, als in ihr, wie wir bereits oben bemerkt haben, die Wirkung des Erdmagnetismus aufhört.

das Gestell A so gedreht, daß die Ebene des Kreises M in die Ebene des magnetischen Meridians fällt. Da die magnetische Axe der Nadel nicht nothwendig mit der die Spitzen verbindenden Linie ab zusammenfällt, so legt man die Nadel so um, daß die vorher nach r gewendete Seite jetzt nach d hin gewendet ist, und nimmt das Mittel aus beiden Beobachtungen.

Die genaue Messung der magnetischen Neigung ist jedoch weit größeren Schwierigkeiten unterworfen, als die Bestimmung der Abweichung, da es sehr schwer hält, die Inclinationsnadel genau im Schwerpunkte zu unterstützen und um eine durch diesen gehende horizontale Axe hinreichend leicht beweglich zu machen. Daher besitzen auch die Abmessungen der Inclination eine weit geringere Zuverlässigkeit und Uebereinstimmung unter einander, als dies bei den Beobachtungen der Declination der Fall ist.

Aus dem Vorhergehenden ist auch klar, daß an einer frei aufgehängten Declinationsnadel die südliche Hälfte etwas schwerer sein muß, als die nördliche, wenn die Nadel horizontal schweben soll. Dagegen wird das Gesammtgewicht eines Eisen- oder Stahlstabes durch Magnetisiren nicht vergrößert, da die eine Hälfte vom Erdmagnetismus eben so stark abgestoßen, als die andere angezogen wird.

§. 114. Intensität des Erdmagnetismus.

Nachdem wir uns in den beiden vorhergehenden Paragraphen mit der Bestimmung der Richtung der magnetischen Kraft der Erde beschäftigt und zugleich gezeigt haben, daß die Richtung derselben für verschiedene Punkte der Erdoberfläche eine sehr verschiedene ist, so reiht sich hieran die Frage, ob die Größe dieser Kraft überall auf der Erde die nehmliche oder an verschiedenen Orten ungleich ist. So wie Pendelschwingungen gelehrt haben, daß die Schwere vom geographischen Aequator nach den Polen hin zunimmt, in ähnlicher Art ist man durch Beobachtungen der Schwingungen der Magnetnadel zu Aufschlüssen über die Verhältnisse der Intensität des Erdmagnetismus gelangt, indem man nehmlich die Schwingungen zählte, welche derselbe Magnetstab in gleichen Zeiten an verschiedenen Orten vollendete. — Man bedient sich für diesen Zweck entweder einer Inclinationsnadel, oder, da die Ausführung genauer Inclinatorien mit Schwierigkeiten verbunden ist, häufiger einer Declinationsnadel, indem man, da die letztere nur durch einen Theil der magnetischen Kraft der Erde in Bewegung gesetzt wird, aus diesem Theile mit Berücksichtigung der Neigung die volle Kraft durch Rechnung herleitet*).

Man hat auf diese Art gefunden, daß die Intensität des Erdmagnetismus im Allgemeinen von dem magnetischen Aequator gegen die Pole hin zunimmt. — Sie ist jedoch weder an den Polen am stärksten, noch am magnetischen Aequator an allen Punkten dieselbe.

Auf die Verschiedenheit in der Intensität des Erdmagnetismus hat vorzüglich A. v. Humboldt zuerst aufmerksam gemacht. Dieser fand nehmlich auf seinen Reisen in Amerika, daß seine Magnetnadel, welche bei der Rückkehr nach Paris noch die nehmliche Kraft zeigte, am magnetischen Aequator in Peru nur 211 Schwingungen in 10 Minuten vollendete, während sie zu Paris in derselben Zeit 245 Schwingungen machte. Die magnetischen Kräfte verhalten sich aber wie die Quadrate dieser Zahlen, also ohngefähr wie 3 zu 4. — Die größte in der Nähe des südlich von Neuholland gelegenen Poles beobachtete Intensität übertrifft die schwächste am magnetischen Aequator

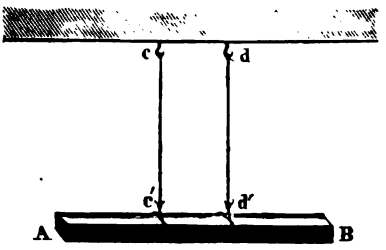
*) Ist P die Kraft des Erdmagnetismus, Q der auf die Declinationsnadel wirkende Theil, α die magnetische Neigung, so ist zu Folge des vorhergehenden Paragraphen $Q = P \cos \alpha$, also $P = Q : \alpha$. — Wie wir schon früher angeführt haben, sind die Kräfte den Quadraten der Schwingungszahlen proportional. Macht also eine Declinationsnadel in einem Orte mit der Neigung α n, in einem anderen Orte mit der Neigung α' n' Schwingungen in einer bestimmten Zeit, so stehen an diesen beiden Orten die Intensitäten des Erdmagnetismus in dem Verhältnisse $\frac{n^2}{\cos \alpha} : \frac{n'^2}{\cos \alpha'} = n^2 \cos \alpha' : n'^2 \cos \alpha$.

fast um das Dreifache, während die Schwere an den geographischen Polen die Schwere am Aequator nur um $^1/_{200}$ übersteigt.

Linien, welche durch die Orte gleicher magnetischer Intensität gehen, werden isodynamische genannt. Dieselben sind weder dem magnetischen, noch dem geographischen Aequator parallel, sondern haben eine eigenthümliche Gestaltung.

Zur Abmessung der Stärke des Erdmagnetismus, der Veränderungen desselben, so wie auch zu anderen magnetischen Messungen eignet sich besonders das von Gauß angegebene Bifilarmagnetometer. Das Princip, auf welchem dieses Instrument beruht, ist im Wesentlichen folgendes: Denken wir uns zunächst einen unmagnetischen Stab AB, Fig. 109, an zwei feinen Fäden cc' und dd' aufgehängt, so wird derselbe eine solche Lage annehmen, bei welcher der Schwerpunkt des Stabes und die beiden Fäden in einer Ebene liegen, und wenn die Punkte c und d in wagrechter Richtung gedreht werden, so wird auch der Stab denselben in die angegebene Lage folgen. Wird er hieran verhindert, so wird er sich in diese Lage mit einer Kraft zu drehen streben, welche von der Länge der Fäden, ihrem gegenseitigen Abstande und dem Gewichte des Stabes abhängt. Ist der Stab AB magnetisch, so wird er die mehr erwähnte Lage nur dann wirklich annehmen, wenn die Punkte c und d in der Ebene des magnetischen Meridians liegen; entgegengesetzten Falles wird derselbe in eine mittlere Lage kommen, welche von der verhältnißmäßigen Größe der eben erörterten Kraft und der Stärke, mit welcher der Erdmagnetismus auf den Stab einwirkt, abhängt. — Man führt nun den Magnetstab AB durch Drehung der Aufhängepunkte c und d in eine solche Lage, bei welcher die Axe desselben mit dem magnetischen Meridian nahezu einen rechten Winkel bildet. Eine geringe Aenderung in der Stärke des Erdmagnetismus bringt auch eine Aenderung in der Lage des Stabes hervor.

(Fig. 109.)



§. 115. Veränderungen der Richtung und Intensität des Erdmagnetismus.

Die Abweichung, die Neigung und die Intensität des Erdmagnetismus sind an dem nehmlichen Orte der Erde nicht beständig dieselben. Vor 200 bis 300 Jahren wich das Nordende der Magnetnadel vom geographischen Norden in unseren Gegenden nicht, wie gegenwärtig gegen Westen, sondern gegen Osten ab; diese östliche Abweichung verminderte sich allmählig immer mehr, bis vor etwa 200 Jahren ein Zeitpunkt eintrat, in welchem die Nadel genau nach Norden zeigte; hierauf entfernte sich das Nordende der Nadel vom geographischen Norden gegen Westen hin, und diese westliche Abweichung wuchs immer mehr, bis sie vor etwa 50 Jahren ihr Maximum erreichte; seitdem hat dieselbe sich allmählig wieder etwas vermindert, und das Nordende der Nadel nähert sich nun langsam wieder dem geographischen Norden*).

Auch die Neigung der Magnetnadel ist nicht beständig dieselbe geblieben, und obschon aus früheren Zeiten zuverlässige Beobachtungen der Inclination fehlen, so geht doch aus den seit etwa 100 Jahren mit hinreichender Genauigkeit angestellten Beobachtungen unzweifelhaft hervor, daß die Neigung

*) In Paris wich die Magnetnadel im Jahre 1580 $11^1/_2{}^0$ gegen Osten ab; 1663 zeigte sie gerade nach Norden; seitdem wurde die Abweichung westlich, wuchs im Jahre 1814 bis auf $22^1/_2{}^0$ und nimmt gegenwärtig allmählig wieder ab.

sich im mittleren Europa fortwährend vermindert hat, und daß sie auch gegenwärtig noch im Abnehmen ist *).

Die Beobachtungen der magnetischen Intensität gehören erst der neuesten Zeit an. Dieselben sprechen ebenfalls für eine Abnahme der Intensität.

Aus den Veränderungen der Declination und Inclination folgt, daß auch die Lage der magnetischen Pole und des magnetischen Aequators der Erde nicht beständig dieselbe sein kann. Gegenwärtig scheint der nördliche Pol in einer östlichen, der südliche in einer westlichen Bewegung begriffen zu sein. Die Ursache dieser Veränderungen ist uns jedoch gänzlich unbekannt; auch die Periode, in welche diese höchst wahrscheinlich oscillatorischen Bewegungen eingeschlossen sein dürften, werden erst die Beobachtungen späterer Zeiten kennen lehren, da unsere bisherigen magnetischen Beobachtungen noch einen zu kurzen Zeitraum umfassen.

Außer der angeführten größeren periodischen Bewegung zeigt die Declinationsnadel noch kleinere, tägliche, regelmäßige Schwankungen, welche ihren Grund in dem Wechsel der Tageswärme haben dürften, da sie mit dieser in die nehmliche Periode eingeschlossen sind, und, wie wir weiter unten (§. 151) zeigen werden, die ungleiche Erwärmung eines Körpers magnetische Erscheinungen hervorzurufen vermag. — Aehnliche Veränderungen hat man auch in neuerer Zeit an der Inclinationsnadel und in Hinsicht der magnetischen Intensität wahrgenommen.

Zuweilen bemerkt man auch an der Magnetnadel unregelmäßige Schwankungen, welche man Störungen nennt. Dieses ist besonders zur Zeit eines Nordlichtes der Fall. Die Nadel ist dann in einer beständigen zitternden Bewegung und erleidet bedeutende Ablenkungen. Diese Störungen treten gleichzeitig an den entlegensten Orten ein, auch an solchen, in denen das Nordlicht nicht sichtbar ist; sie sind jedoch im Allgemeinen an den dieser Erscheinung näher liegenden Orten stärker, als an entfernteren. Nicht selten wird das in der Nacht eintretende Nordlicht schon am Tage vorher durch die unregelmäßigen Schwankungen der Magnetnadel verkündigt.

Zu Brüssel betrug

im Jahre	die Declination	die Inclination
1832	22° 18′	68° 49′
1842	21 35	68 15
1852	20 18	67 49

Die Declination hat sich also in Brüssel in den 20 Jahren von 1832 bis 1852 um 2°, die Inclination um 1° vermindert. Diese Abnahmen sind jedoch nicht gleichförmig erfolgt; für die erste Hälfte jenes Zeitraumes, von 1832 bis 1842, hat die Declination um 43 Minuten, während der zweiten Hälfte, von 1842 bis 1852, um 77 Minuten abgenommen; die Inclination hat sich in den ersten 10 Jahren um 34 Minuten, während der letzten 10 Jahre um 26 Minuten vermindert. Die Verminderung ist folglich bei der Declination im Wachsen, bei der Inclination im Abnehmen begriffen.

Bezeichnet man mit δ die an irgend einem Beobachtungsorte für einen bestimmten Zeitpunkt stattfindende Declination, so läßt sich die Größe der Declination δ' für einen um t Jahre früher oder später fallenden Zeitpunkt nach der folgenden Formel berechnen:

$$\delta' = \delta \pm 9',15\, t \pm 0',122\, t^2.$$

*) Die magnetische Neigung betrug in Berlin im Jahre 1806 69° 53′ und im Jahre 1846 67° 43′. Sie hat sich also während 40 Jahren um etwas mehr, als 2° vermindert.

Die täglichen regelmäßigen Variationen der Declinationsnadel sind für die verschiedenen Jahreszeiten und für verschiedene Orte der Erde verschieden; sie sind im Sommer beträchtlicher, als im Winter und umfassen z. B. in Göttingen im Sommer etwa einen Winkel von $12^1/_2'$, im Winter von $6'$. — Während der Nacht verhält sich die Nadel ziemlich ruhig, nach Sonnenaufgang fängt das Nordende der Nadel an sich gegen Westen zu bewegen, einige Stunden Nachmittags erreicht die westliche Ablenkung ihr Maximum, und das Nordende der Nadel fängt nun an, sich allmählig bis etwa gegen 10 Uhr Abends gegen Osten zu bewegen.

Nach Dove in Berlin werden diese Variationen dadurch veranlaßt, daß der Erdmagnetismus durch die Wärme geschwächt wird. Da die östlichen Gegenden der Erde des Morgens früher und stärker, als die westlichen erwärmt sind, so müssen diese folglich eine stärkere Anziehung ausüben, und es muß daher die Nadel sich nach Westen bewegen, am Nachmittage aber, wo die entgegengesetzten Wärmeverhältnisse stattfinden, nach Osten zurückkehren. Eben so erklärt sich nun leicht, warum die Variationen im Sommer beträchtlicher sind, als im Winter, da im Sommer auch die Wärme größeren Schwankungen, als im Winter unterworfen ist.

Uebrigens müssen wir noch bemerken, daß eine empfindliche Magnetnadel, wie sie zu den angegebenen Beobachtungen gebraucht wird (Magnetometer), zu keiner Zeit eine ganz feste Lage hat, sie schwingt vielmehr fortwährend hin und her; man erhält die Lage des Gleichgewichtes, indem man das Mittel aus beiden Ausschlägen nimmt. Ueber die Art, die Beobachtungen aufs Genaueste anzustellen, vergl. unten §. 192.

Wenn die Wissenschaft gegenwärtig noch nicht dahin gelangt ist, die Kräfte, durch welche die Erscheinungen des Erdmagnetismus hervorgerufen werden, mit Sicherheit zu ermitteln und dieselben auf ein einfaches Princip zurückzuführen, so lassen doch die Fortschritte der Wissenschaft überhaupt und die zahlreichen Beobachtungen, welche gegenwärtig, besonders auf Anregung Al. von Humboldts an den verschiedensten Punkten der Erdoberfläche angestellt werden, vielleicht in einer nicht zu fernen Zukunft bestimmtere Aufschlüsse hoffen.

*§. 116. Historische Uebersicht.

Den alten Griechen und Römern war die Kraft der natürlichen Magnete, Eisen anzuziehen, und die gegenseitige Anziehung und Abstoßung der freundschaftlichen und feindschaftlichen Pole zweier Magnete bekannt. Dagegen ging ihnen die Kenntniß, daß ein frei beweglicher Magnet eine bestimmte Lage einnehme, so wie überhaupt die Kenntniß sämmtlicher durch den Erdmagnetismus hervorgerufener Erscheinungen gänzlich ab.

1200 n. Chr. Der Compaß wird in Europa bekannt.

1576 fand zu London die erste Messung der Inclination statt.

1700. Hallei giebt eine Charte der magnetischen Abweichungen für verschiedene Gegenden der Erde heraus.

1799 — 1803. Alex. v. Humboldt stellt vergleichende Messungen der Intensität des Erdmagnetismus in Peru am magnetischen Aequator und zu Paris an.

1819. Hansteen zeichnet Charten der magnetischen Linien für die Jahre 1600, 1700 und 1800.

1831. Roß findet den Magnetpol im Norden Amerika's auf.

1841. Derselbe kommt dem südlich von Neu-Holland gelegenen Magnetpole sehr nahe.

1845. Faraday in England macht die Entdeckung, daß Wismuth und andere Substanzen, welche er diamagnetische nennt, von kräftigen Magneten nicht angezogen, sondern abgestoßen werden.

1849—52. Plücker in Bonn zeigt, daß Wismuth in der Nähe kräftiger Magnetpole die entgegengesetzte Polarität annimmt, welche unter gleichen Umständen im Eisen hervorgerufen wird.

Siebenter Abschnitt.

Electricität.

A. Statische Electricität.

§. 117. Electrische Erscheinungen.

Wenn man eine Siegellackstange an einem wollenen Lappen reibt, so erhält dieselbe die Eigenschaft, 1) leichte Körper, z. B. Stückchen Papier, Strohhälmchen, Metallblättchen u. s. w. anzuziehen. Nähert man derselben 2) im Dunkeln einen andern Körper, z. B. den Finger, so zeigt sich zwischen der Siegellackstange und dem Finger ein Funken, welcher 3) mit einem schwachen Geräusche, Knistern, verbunden ist. Man nennt die angeführten Erscheinungen electrische, die uns unbekannte Ursache derselben Electricität und einen Körper electrisirt oder electrisch, wenn er electrische Erscheinungen zeigt.

Siegellack ist indeß nicht der einzige Körper, welcher durch Reiben electrisch werden kann, sondern dasselbe gilt auch von vielen andern Körpern, z. B. überhaupt von Harz, Bernstein, Glas, Edelsteinen, trockenem Holze u. a. m. Ja wir werden später sehen, daß unter gewissen Bedingungen alle Körper electrisch werden können.

Die Alten kannten fast nur die electrische Eigenschaft des Bernsteins (ἤλεκτρον); erst im Jahre 1600 zeigte der Engländer Gilbert in seiner Schrift de magnete, daß auch andere Körper durch Reiben electrisch werden können.

§. 118. Electrische Leitung.

Wenn man ein Scheibchen Papier etwa von der Größe eines Zweipfennigstücks an einem seidenen Faden aufhängt und einer geriebenen Siegellackstange nähert, so wird dasselbe von der Siegellackstange erst angezogen, nach der Berührung mit derselben aber abgestoßen. Dieses Scheibchen zeigt nun ein ähnliches Verhalten, wie die geriebene Siegellackstange, wenn auch in schwächerem Maaße; es zieht leichte Körper an, z. B. ein anderes an einem seidenen Faden hängendes Scheibchen, und stößt es nach der Berührung wieder ab, woraus man schließen kann, daß das mit der Siegellackstange in Berührung gebrachte Scheibchen nun selbst electrisch geworden ist. Funken und Knistern werden aber nicht leicht wahrgenommen, weil sie allzu schwach sind.

Das Scheibchen verliert seine Electricität wieder, wenn es mit dem Finger berührt wird.

In dem angeführten Versuche war das Scheibchen nicht durch Reiben, sondern durch Berührung mit einem electrischen Körper electrisch geworden. Man nennt diese letztere Art der Electricitätserregung electrische Mittheilung.

Hält man aber ein Scheibchen an einem metallenen Faden, (wie dergleichen z. B. um ächte oder unächte Silber- oder Goldschnüre oder übersponnene Saiten gewickelt werden,) oder in Ermangelung dessen an einem angefeuchteten Zwirnsfaden auf, so wird es niemals gelingen, dem Scheibchen Electricität mitzutheilen. Dasselbe wird von der geriebenen Siegellackstange

Wenn man ein Kügelchen aus Wismuth oder einer anderen Substanz, welche stark diamagnetisch ist, an einem Seidenfaden aufhängt und den Polen eines sehr kräftigen Magneten nähert, so sieht man deutlich, daß es von beiden Polen abgestoßen wird.

Um flüssige Substanzen zu prüfen, werden dieselben in ein Röhrchen aus dünnem Glase eingeschlossen, welches für sich allein nur eine sehr schwache diamagnetische Wirkung giebt, so daß sich in der Regel die Einwirkung der Magnetpole auf die Flüssigkeit von der auf das Röhrchen leicht unterscheiden läßt.

Ueber das magnetische Verhalten der Gase sind (1851) von Plücker in Bonn entscheidende Versuche angestellt worden. Die Gase wurden in eine dünne gläserne Kugel gebracht, auf welche die Pole eines kräftigen Electromagneten, wenn die Kugel ganz leer war, keine wahrnehmbare Wirkung ausübten. War die Kugel mit Sauerstoffgas gefüllt, so wurde sie von den Magnetpolen angezogen. Sauerstoffgas ist folglich magnetisch. Die Stärke der Anziehung war bis zu dem Drucke von zwei Athmosphären der Dichte des in der Kugel enthaltenen Sauerstoffgases proportional. Stickstoffgas, kohlensaures Gas und einige andere Gase zeigten unter gleichen Umständen keine wahrnehmbare Wirkung. Wasserstoffgas wurde dagegen von den Magnetnadeln abgestoßen und ist folglich diamagnetisch. Atmosphärische Luft, als ein Gemenge von Sauerstoffgas und Stickstoffgas, erwies sich magnetisch. Die Anziehung war ziemlich nahe der Menge des in der Luft enthaltenen Sauerstoffgases proportional.

Da die Luft entschieden magnetisch ist, so müssen in derselben frei bewegliche, unmagnetische oder schwächer magnetische Gase und Dämpfe von den Polen eines kräftigen Magneten durch die angezogene und zuströmende Luft weggedrängt werden. Dasselbe muß, da die magnetische Anziehung der Luft mit ihrer Dichte zunimmt, auch von wärmerer, also dünnerer Luft, welche sich in kälterer, also dichterer Luft befindet, gelten. Es erklärt sich hieraus die Erscheinung, daß eine Lichtflamme oder der Rauch eines glimmenden Wachsstockes von den Polen eines kräftigen Magneten scheinbar abgestoßen wird.

Nach den in den Jahren 1849—52 von Plücker angestellten Untersuchungen erhält ein Wismuthstäbchen in der Nähe kräftiger Magnetpole die entgegengesetzten Pole von denen, welche unter gleichen Umständen im Eisen hervorgerufen werden. Aehnliches ist der Fall, wenn das Wismuthstäbchen von einer Drathspirale umgeben ist, durch welche ein electrischer Strom geleitet wird. (Vergl. unten §. 154.)

Noch bemerken wir in Beziehung auf die Lage, welche zwischen den Polen eines Magneten aufgehängte magnetische oder diamagnetische Substanzen einnehmen, daß nach den Untersuchungen von Plücker, Faraday u. A. die Richtung derselben nicht allein von der Gestalt derselben abhängt, sondern durch die Lage der Krystallaxen dieser Substanzen bedingt wird. Wir können jedoch hierauf nicht näher eingehen und brechen überhaupt von den diamagnetischen Erscheinungen ab, da man ihre Ursache, so wie auch ihren Einfluß auf die Naturerscheinungen im Großen gegenwärtig noch nicht kennt. — Wir wenden uns nun zu der näheren Erörterung der durch den Erdmagnetismus bedingten Erscheinungen.

§. 111. Magnetismus, durch die Lage hervorgerufen.

Wenn man einem aufrecht stehenden Stabe von Eisen, z. B. der senkrechten Stange eines Fensterkreuzes, am unteren Ende eine empfindliche Magnetnadel nähert, so findet man, daß das Nordende der Nadel abgestoßen, das Südende angezogen wird, während das obere Ende des Eisens die entgegengesetzte Erscheinung zeigt. Das aufrecht stehende Eisen ist also magnetisch und hat an seinem unteren Ende einen Nordpol, am oberen einen Südpol. An einem Stabe aus weichem Eisen treten diese Erscheinungen

augenblicklich hervor, so wie man denselben in die senkrechte Lage bringt; das untere Ende zeigt sogleich Nord-, das obere Südmagnetismus, und so wie man den Stab umkehrt, kehren sich auch auf der Stelle seine Pole um.

Am harten Eisen oder Stahl zeigen sich die angeführten Erscheinungen weniger deutlich; es bedarf bei diesen wegen der größeren Coercitivkraft eines längeren Beharrens in der senkrechten Lage, um die magnetische Vertheilung zu bewirken.

Fragt man nach dem Grunde dieser Erscheinungen, so wird man denselben wohl nirgends anders, als in dem Magnetismus der Erde suchen können. Da eine aufrecht stehende Eisenstange am unteren Ende einen Nordpol, am oberen einen Südpol erhält, so folgt hieraus, daß in unseren Gegenden der Südmagnetismus der Erde über den Nordmagnetismus das Uebergewicht hat, und daß wir uns also dem magnetischen Südpole der Erde näher, als dem Nordpole befinden.

Die senkrechte Lage ist jedoch nicht die einzige, in welcher der Erdmagnetismus seine vertheilende Wirkung auf das Eisen ausübt; vielmehr findet diese Wirkung fast in allen Lagen, jedoch mit verschiedener Stärke statt. In den folgenden Paragraphen, in denen wir uns specieller mit der magnetischen Kraft der Erde beschäftigen werden, werden wir auch die Lagen näher bestimmen, in welchen der Erdmagnetismus auf einen Eisenstab am stärksten, und in welchen er gar nicht vertheilend einwirkt.

Die vertheilende Wirkung des Erdmagnetismus auf ein hartes Eisen wird befördert durch Schlagen, Hämmern, Feilen u. dgl. Auf diese Art geschieht es häufig, daß Geräthschaften von Stahl magnetisch werden, ohne daß man die Absicht hat, ihnen Magnetismus zu ertheilen.

Auch durch die Wärme kann die magnetische Vertheilung befördert werden. Taucht man einen rothglühenden Stahlstab in senkrechter Stellung in kaltes Wasser, so erhält derselbe am unteren Ende Nord-, am oberen Ende Südmagnetismus.

Bringt man mehrere Nähnadeln auf der Oberfläche des Wassers zum Schwimmen, so wird man fast immer einige antreffen, welche so stark magnetisch sind, daß sie von selbst eine Lage von Norden nach Süden annehmen.

Durch den Erdmagnetismus erhält man auch ein Mittel, sich einen Magneten zu verschaffen, ohne schon vorher im Besitz eines natürlichen oder künstlichen Magneten zu sein. Man bringt nehmlich den zu magnetisirenden Stahlstab in die senkrechte Stellung und übt dann auf das obere Ende einige Schläge mit einem Hammer aus. Noch vortheilhafter ist es, wenn man hierbei den Stahlstab mit seinem unteren Ende auf eine Masse von weichem Eisen stützt.

§. 112. Magnetische Abweichung.

Wie wir bereits oben gesehen haben, zeigt das Nordende der Magnetnadel nicht genau nach Norden, sondern weicht (in unseren Gegenden), ohngefähr 16^0 gegen Westen ab. Man unterscheidet hiernach *magnetisches* und *geographisches Norden*. Eine Ebene, welche durch die beiden Pole einer Magnetnadel und durch den Mittelpunkt der Erde geht, wird der *magnetische Meridian* genannt, zum Unterschiede von dem geographischen Meridian, welcher durch die Pole der Erde geht. Der Winkel, welchen der magnetische Meridian mit dem geographischen Meridian bildet, (oder, was dasselbe sagen will, der Winkel, um welchen die Axe der Magnetnadel von der Mittagslinie abweicht,) heißt *die magnetische Abweichung* oder *Declination*.

Die magnetische Abweichung ist für verschiedene Orte der Erdoberfläche verschieden. In ganz Europa, mit Ausnahme eines kleinen Theiles von Rußland, weicht das Nordende der Magnetnadel vom geographischen Norden gegen Westen ab. Im Allgemeinen ist die westliche Abweichung im Westen Europa's größer, als im Osten*).

Wenn man die magnetischen Meridiane der Erde bis zu ihrem Durchschnitte auf der Erdoberfläche verlängert, so durchschneiden sich dieselben keineswegs, wie die geographischen Meridiane, sämmtlich in den nehmlichen beiden Punkten. Eine solche Convergenz verschiedener magnetischer Meridiane in demselben Punkte findet nur in der Nähe gewisser Stellen der Erdoberfläche statt, welchen man deshalb den Namen magnetischer Convergenzpunkte oder Pole gegeben hat. Der eine dieser Convergenzpunkte, dessen Lage vorzüglich Hansteen in Christiania durch sorgfältige Vergleichung der im nördlichen Amerika angestellten Beobachtungen zu ermitteln gesucht hat, ist seitdem nahe übereinstimmend mit Hansteen's Angaben in der Nähe der Repulsebay (ohngefähr in 70° nördl. Breite und 97° westl. Länge von Greenwich) durch den Seefahrer Roß im Jahre 1831 wirklich aufgefunden worden. Als man diesen Pol umfuhr, machte auch die Magnetnadel einen vollständigen Umlauf und wies jederzeit gegen denselben hin, so daß, als man sich nördlich von diesem Pole befand, das Ende, welches in unseren Gegenden nach Norden zeigt, sich gegen Süden wendete. In der unmittelbaren Nähe des Poles selbst hatte die Magnetnadel ihre Richtkraft gänzlich verloren; sie zeigte erst in der Entfernung mehrerer Meilen vom Pole wieder das Bestreben, eine bestimmte Lage anzunehmen.

Ein zweiter Convergenzpunkt oder Magnetpol findet sich in der südlichen Erdhälfte im Süden der Ostküste Neuhollands, und ist ebenfalls durch Roß, welcher sich demselben sehr näherte, jedoch ohne ihn ganz zu erreichen, näher bestimmt worden. (75° südl. Breite und 154° östl. Länge.) Die beiden Pole liegen einander jedoch nicht diametral gegenüber; (sie sind nicht um 180°, sondern um einen Bogen von 161° eines durch dieselben gelegten größten Kreises von einander entfernt).

In Gegenden der Erdoberfläche, welche von den angegebenen Polen weit entfernt sind, weist jedoch die Magnetnadel nicht mehr, so wie in der Nähe derselben, gerade auf die Pole hin, der verlängerte magnetische Meridian durchschneidet die Pole nicht. Die in Fig. 105 abgebildete Charte giebt für das Jahr 1825 (außer den magnetischen Parallelen, von denen weiter unten, §. 113, die Rede sein wird) die Lage der beiden Convergenzpunkte und den Lauf derjenigen Linien an, auf welchen man, wenn man immer der Richtung der Magnetnadel folgte, zuletzt nach dem einen oder andern Convergenzpunkte hingelangen würde. Diese Linien sind nicht, wie die geographischen Meridiane, Kreise, sondern Linien von eigenthümlicher Krümmung.

Die Resultate der an den verschiedenen Stellen der Erdoberfläche angestellten Beobachtungen der magnetischen Declination sind zum Theil so verwickelt und räthselhaft, daß sie sich weder durch die Annahme eines im Innern der Erde befindlichen Magneten, noch durch die Annahme von zwei magnetischen Axen, wie dieses Hansteen versucht hat, genügend erklären lassen.

---

*) Die westliche Abweichung beträgt für London ohngefähr 23°, für Brüssel 20°, für Göttingen 17°, für Berlin 16°, für Wien 13°, für Petersburg 6°, für Moskau 3° u. s. w

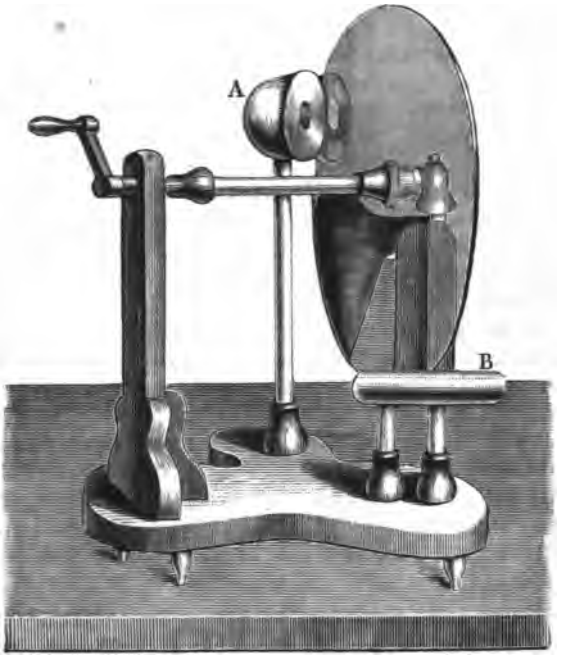
(Fig. 106.)

positive Electricität. — Bei den neueren Electrisirmaschinen ist das Reibzeug isolirt und mit einem besonderen Conductor verbunden. Man kann sich dann leicht überzeugen, daß bei der Umdrehung des Reibers das Reibzeug und der Conductor desselben negative Electricität erhalten. — Will man kräftige positive Electricität in dem Conductor des Reibers ansammeln, so muß das Reibzeug oder der Conductor desselben mit der Erde leitend verbunden werden, um die negative Electricität abzuleiten. Dasselbe gilt von dem Conductor des Reibers, wenn man die negative Electricität des Reibzeugs ansammeln will.

Die Versuche mit der Electrisirmaschine hängen sehr von der relativen Trockenheit der Luft ab; sie gelingen daher am besten während des Winters bei Frostwetter im geheizten Zimmer, im Sommer bei trockener Witterung um Mittag.

Die ersten Electrisirmaschinen mit Reiber, Reibzeug und Conductor sind ums Jahr 1744 von deutschen Physikern Hausen und Winkler in Leipzig, Bose in Wittenberg u. a. m. angefertigt worden; dieselben entzündeten leicht brennbare Körper durch den electrischen Funken und stellten mehrere für die damalige Zeit neue Versuche an. — Die physikalischen Lehrbücher nennen gewöhnlich den Erfinder der Luftpumpe, Otto v. Guerike, auch als Erfinder der Electrisirmaschine, nach Art der Volkssagen, welche an einen berühmten Namen möglichst viele Ereignisse zu knüpfen pflegen. Guerike's Vorrichtung verdient allerdings den Namen einer Maschine, da sie aus einer Schwefelkugel bestand, welche sich vermittelst einer mechanischen Vorrichtung rasch um eine Axe drehen ließ. Sie war indeß von dem Begriffe, welchen wir heut zu Tage mit der Benennung „Electrisirmaschine" verbinden, weit entfernt, da sie von den drei wesentlichen Theilen einer solchen nur einen, den Reiber, wirklich enthielt, während der zweite Theil, das Reibzeug, durch die hohle Seite der Hand, welche man an die gedrehte Kugel legte, ersetzt wurde, und der dritte wesentliche Theil, der Conductor, gänzlich fehlte und auch nicht vorhanden sein konnte, da zu Guerike's Zeiten der Unterschied zwischen guten und schlechten Leitern, die Möglichkeit, einen guten Leiter zu isoliren und

(Fig. 112.)



durch Mittheilung zu electrisiren, noch gar nicht bekannt war. Guerike's Vorrichtung war so unvollkommen, daß die Physiker nach Guerike dieselbe wenig anwendeten, sondern sich hauptsächlich der weit bequemeren gläsernen Röhren bedienten, wie wir bereits oben in der Geschichte von Gray's Entdeckungen gesehen haben.

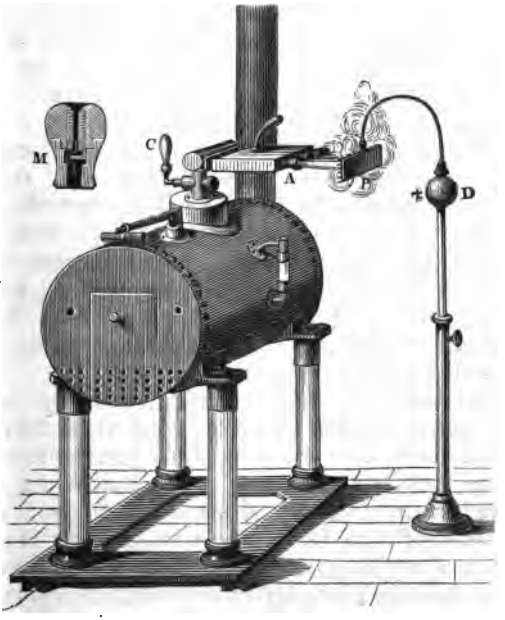
Bei den Electrisirmaschinen nach der neuesten und besten Einrichtung, wie sie von Winter in Wien geliefert werden, ist der Reiber, welcher aus einer starken Scheibe von Spiegelglas besteht, an einer vermittelst einer Kurbel drehbaren Axe, deren mittlerer Theil aus Glas besteht, befestigt. Der Hauptconductor A, Fig. 112, ist eine hohle Messingkugel, welche ebenfalls von einer Glassäule getragen wird. An demselben sind zwei hölzerne Ringe angebracht, welche an der innern Seite, da, wo die Scheibe zwischen ihnen hindurchgeht, mit einer Rinne versehen sind, deren Boden mit feinen Nadelspitzen besetzt und mit Stanniol bekleidet ist, von welchem ein Streifen sich bis zu dem messingnen Conductor fortsetzt. Als Reibzeug dienen zwei mit Amalgam bestrichene lederne Kissen; an diese sind vorn zwei Flügel aus Wachstaffet befestigt, welche sich dicht an die Scheibe anlegen und verhindern, daß sich die positive Electricität des Reibers nicht in die Luft ausbreite, bevor sie an den feinen Saugspitzen der beiden hölzernen Ringe, welche mit dem Conductor A in leitender Verbindung stehen, aufgenommen werden. An der Rückseite der Kissen aber ist ein von einer Glassäule getragener cylinderförmiger, messingner Conductor B befestigt.

Derartige Maschinen geben bei einem Scheibendurchmesser von

1	Fuß	Funken	von	5	bis	7	Zoll	Länge.
2	"	"	"	12	"	14	"	"
3	"	"	"	20	"	22	"	"

Eine neue Art von Electrisirmaschinen, welche äußerst kräftige Wirkungen giebt, ist im Jahre 1840 von dem Engländer Armstrong erfunden worden. Die Veranlassung zu dieser Erfindung gab der Umstand, daß ein Arbeiter, welcher die eine Hand in den Dampf hielt, der aus einer Spalte im Dampfkessel ausströmte, einen elektrischen Schlag empfand, als er mit der andern Hand das Ventil berührte. Armstrong überzeugte sich nun zunächst, indem er eine Locomotive auf isolirende Unterlagen stellte, daß beim Ausströmen des Dampfes dieser positiv, der Kessel aber negativ electrisch wird, und construirte hierauf eine eigene Electrisirmaschine, Fig. 113, welche aus einem auf gläsernen Füßen ruhenden Dampfkessel besteht, aus welchem die entwickelten Dämpfe bei A aus mehreren Röhren entweichen. An das Ende dieser Röhren ist ein Messingstück angeschraubt, welches bei M in etwas größerem Maaßstabe abgebildet ist. In demselben befindet sich ein Holzstück, an welchem sich die entweichenden Dämpfe reiben. Die Heizung ist im Innern des Dampfkessels angebracht, und ein an der Seite desselben befindliches Glasrohr zeigt den Stand des Wassers im Innern des Kessels an. Die Dämpfe treten erst, nachdem sie eine gewisse Spannung erlangt haben, durch die Röhren bei A aus, indem ein dieselben absperrender Hahn vermittelst des Handgriffs C geöffnet wird. Der Kessel zeigt nun bald kräftige negative Electricität, welche noch gesteigert wird, wenn man die positive Electricität der Dämpfe durch

(Fig. 113.)



Spitzen, gegen welche dieselben bei P strömen, nach dem Erdboden ableitet. Ist die durch einen starken Drath mit den Spitzen verbundene metallene Kugel D isolirt, so zeigt dieselbe freie positive Electricität. — Die eben beschriebene Electrisirmaschine, bei welcher der Dampfkessel den Conductor, die Röhren den Reiber und die Dämpfe das Reibzeug bilden, führt den Namen Hydroelectrisirmaschine.

§. 122. Versuche mit der Electrisirmaschine.

Durch die Electrisirmaschine werden wir zunächst in den Stand gesetzt, die im Vorhergehenden angeführten Gesetze durch in größerem Maaßstabe ausgeführte Versuche zu bestätigen.

1) Wenn wir durch theilweise Umdrehung des Reibers nur einen Theil desselben electrisiren, so zeigt nur dieser Theil electrische Erscheinungen; die übrigen Theile desselben verhalten sich unelectrisch, da bei einem schlechten Leiter die erzeugte Electricität sich auf die Stelle beschränkt, in welcher sie unmittelbar erregt worden ist.

2) Ist der Reiber vollständig oder mehrmals umgedreht worden, so lassen sich demselben bei Annäherung des Fingers an verschiedenen Stellen mehrere Funken nach einander entziehen, weil bei einem schlechten Leiter nur jeder Stelle einzeln durch einen hinreichend oder bis zur Berührung genäherter Körper die Electricität entzogen wird.

3) Dagegen giebt der Conductor, als ein guter Leiter, bei hinreichender Annäherung des Fingers Electricität von seiner ganzen Oberfläche ab. Man erhält daher von dem Conductor schon in größerer Entfernung und viel stärkere Funken, als von dem Reiber.

4) Ein an einem seidenen Faden aufgehängtes Korkkügelchen, welches den electrisirten Reiber berührt hat, wird von diesem, so wie auch vom Conductor abgestoßen, zum Beweise, daß beide gleichnamige Electricität besitzen.

5) Sind an einer Electrisirmaschine sowohl der Reiber, als auch das Reibzeug mit einem besonderen isolirten Conductor versehen, so wird ein an einem seidenen Faden aufgehängtes und mit dem einen Conductor in Berührung gebrachtes Kügelchen von diesem abgestoßen, von dem andern Conductor aber lebhaft angezogen, weil Reiber und Reibzeug, so wie die zugehörigen Conductoren entgegengesetzte Electricitäten haben.

Weiter führen wir folgende Beobachtungen und Versuche an:

6) Nach einigen Umdrehungen des Reibers bemerkt man einen eigenthümlichen Geruch, welcher nach Schönbein durch Bildung einer eigenthümlichen Substanz, des Ozon, entsteht. (Vergleiche oben §. 85, Anmerkung.)

7) Nähert man dem electrischen Reiber das Gesicht oder die Rückseite der Hand, so verspürt man ein eigenthümliches Gefühl, wie von Spinnweben.

8) Durch den electrischen Funken des Conductors lassen sich leicht zündbare Stoffe, Wasserstoffgas, Aether, Spiritus u. dgl. entzünden. Eine Mischung von Wasserstoffgas und atmosphärischer Luft verbrennt mit Explosion, worauf die sogenannte electrische Pistole beruht.

9) Längere Funken, welche man dem Conductor entzieht, beschreiben keine gerade Linie, sondern eine gebrochene (Zickzack-) Linie. Auf die Erklärung dieser Erscheinung werden wir später beim Blitze (§. 136) zurückkommen.

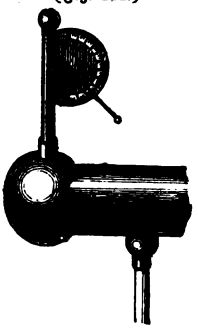
10) Bringt man an dem Conductor eine Spitze an, so bemerkt man im Dunkeln bei Umdrehung des Reibers einen von der Spitze ausgehenden leuchtenden Strahlenbüschel, welcher sich noch verlängert, wenn man der Spitze in einiger Entfernung die flache Hand oder einen andern Leiter gegenüber hält. Der Strahlenbüschel ist beim positiven Conductor größer, als beim negativen.

11) In der Nähe der Electricität ausströmenden Spitze bemerkt man einen starken Geruch nach Ozon (vergl. Nro. 6).

12) Wenn man einen Menschen auf eine isolirende Unterlage, (den so genannten Isolirstuhl, welcher aus einem Brette besteht, das auf gläsernen Füßen ruht,) stellt und mit dem Conductor in leitende Verbindung bringt, so kann man demselben eben so, wie dem Conductor, Funken entziehen, welche Spiritus entzünden u. dgl. m. Man bemerkt zugleich, daß die Haare des Kopfes sich emporsträuben und im Dunkeln leuchten.

Um die Stärke der Electricität des Conductors einigermaßen abzumessen, dient das Quadranten-Electrometer von Henley, Fig. 114. Dieses besteht aus einem Stäbchen, welches auf dem Conductor befestigt wird und an seinem oberen Ende einen Halbkreis trägt, von dessen Mittelpunkt ein beweglicher, unten mit einem Korkkügelchen versehener Stift ausgeht. Je stärker der Conductor geladen ist, um so mehr wird der Zeiger und das Kügelchen abgestoßen und um einen um so größeren Winkel, welcher durch die Grade des Halbkreises gemessen wird, in die Höhe getrieben.

(Fig. 114.)



In Hinsicht der electrischen Lichterscheinungen unterscheidet man den mit einem mehr oder weniger heftigen Knall hervorbrechenden electrischen Funken, den nur vor einem schwachen Knistern begleiteten Lichtbüschel und das Glimmlicht. Bei dem electrischen Funken findet ein plötzlicher Uebergang einer größeren Electricitätsmenge statt, indem zugleich ein schlechter Leiter, gewöhnlich die Luft durchbrochen wird. Bei dem Lichtbüschel geht die Electricität mehr allmählig in die den electrischen Körper zunächst berührenden Luft- und Staubtheilchen und von diesem dann zu weiter folgenden Theilchen über. Der Büschel zieht sich bei schwächerer Ladung des Conductors in einen leuchtenden Punkt, das Glimmlicht, zusammen. Ueberhaupt findet zwischen allen drei Arten der electrischen Lichterscheinung bei veränderter Oberfläche des mit Electricität geladenen Körpers, veränderter Dichtigkeit dieser Electricität oder bei Annäherung eines Leiters, ein vielfacher Wechsel und Uebergang statt.

(Fig. 115.)

Zu den oben angeführten Versuchen fügen wir noch den folgenden hinzu: Wenn man ein Stückchen Papier, welches man mit Jodkaliumkleister bestrichen und auf eine Metallplatte aufgeklebt hat, einer am positiven Conductor befindlichen Spitze gegenüber hält, so wird dasselbe durch die Einwirkung des sich bildenden Ozon rasch geblaut. Man bereitet den Jodkaliumkleister, indem man zwei Theelöffel voll Stärke, welcher man ein Körnchen Jodkalium zusetzt, mit dem zehnfachen Volumen Wasser zu Kleister kocht.

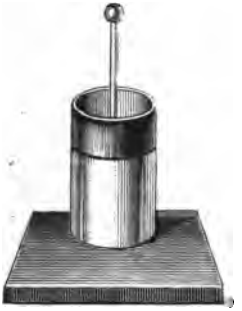
Wir übergehen die große Zahl der electrischen Spielereien und führen nur das electrische Glockenspiel an, welches Fig. 115 nach einer einfachen

Einrichtung darstellt. An einem metallenen Arm ab, welcher durch eine Glassäule g isolirt ist, hängen zwei Glöckchen c und d, ersteres an einer seidenen Schnur, letzteres an einer metallenen Kette, und zwischen beiden ist an einer seidenen Schnur das Pendelchen k aufgehängt. Eine metallene Kette aber setzt das Glöckchen c mit dem Fußboden in leitende Verbindung. Wenn nun der metallene Arm ab mit dem Conductor einer Electrisirmaschine leitend verbunden und diese in Thätigkeit gesetzt wird, so wird das Pendelchen k von dem Glöckchen d erst angezogen, dann abgestoßen, und nachdem es die von d empfangene Electricität an das Glöckchen c abgegeben hat, aufs Neue von d angezogen u. s. w.

§. 128. Electrische Flasche.

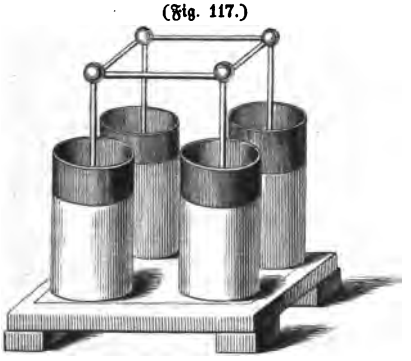
So wie in der Geschichte der Wissenschaft nach Einführung der Electrisirmaschine sich in rascher Folge die großartigsten Entdeckungen auf einander drängen und die richtige Würdigung derselben einer späteren Zeit angehört, so wollen wir uns auch zunächst mit den Mitteln, die stärksten Grade der Electricität zu erregen, vorläufig bekannt machen und dann wieder auf dem oben betretenen Wege der Untersuchung fortschreiten und die vorgeführten Erscheinungen zu erklären, d. h. auf allgemeine Gesetze zurückzuführen suchen.

(Fig. 116.)



Die größte Verstärkung der Electricität erhält man durch die electrische Flasche (Fig. 116). Diese besteht aus einem Glase, welches innerlich und äußerlich mit Metall, gewöhnlich Stanniol (dünn gewalztem Zinn), belegt ist, doch so, daß zwischen beiden Belegungen ein dieselben trennender Rand des Glases frei bleibt, welchen man gewöhnlich zur bessern Abhaltung der Feuchtigkeit mit Siegellack überzieht. Zur inneren Belegung führt ein Drath, welcher oben in eine Kugel oder einen Knopf endet. Die Flasche wird geladen, wenn man die innere Belegung mit dem Conductor einer thätigen Electrisirmaschine und die äußere Belegung mit dem Erdboden leitend verbindet. Die Flasche wird entladen, wenn man die äußere und innere Belegung mit einander in leitende Verbindung bringt. Man bemerkt hierbei einen kurzen mit einem Knalle begleiteten Funken. — Man sagt, der electrische Leiter, welcher die Entladung einer electrischen Flasche bewirkt, werde im Momente der Entladung von einem electrischen Strome durchlaufen.

(Fig. 117.)

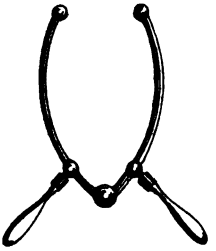


Noch kräftigere Wirkungen, als mit der einfachen Flasche, erhält man durch die Vereinigung mehrer Flaschen zu einer sogenannten electrischen Batterie, Fig. 117. Die innern Belegungen sind durch starke Dräthe, die äußeren Belegungen aber dadurch leitend verbunden, daß die Flaschen auf einem mit Stanniol überzogenen Brette aufgestellt sind.

Zur Entladung der Flasche oder Batterie bedient man sich gewöhnlich eines Ausladers. Dieser besteht aus zwei starken durch ein Charnier verbundenen und in

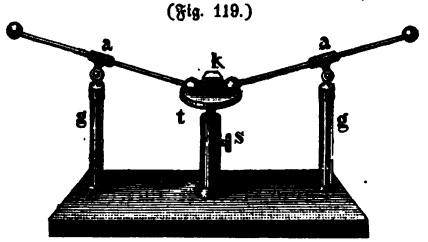
metallene Kugeln endenden Dräthen, welche mit gläsernen Handgriffen versehen sind, vermittelst deren sich die Kugeln beliebig nähern und von einander entfernen lassen (Fig. 118).

(Fig. 118.)



Um den electrischen Schlag durch einen Körper hindurch zu leiten, dient der allgemeine Ausladen von Henley. Dieser besteht aus zwei messingenen um ein Charnier beweglichen Armen aa, Fig 119, welche von Glassäulen gg getragen werden, und einem Tischchen t, welches sich vermittelst der Schraube s höher und niedriger stellen läßt und den Körper k trägt, durch welchen der Schlag hindurchgeführt wird, indem man den einen der beiden Arme durch eine Kette mit der äußeren Belegung einer Flasche oder Batterie, den andern aber vermittelst des in Fig. 118 abgebildeten Ausladers mit dem Knopfe der innern Belegung in Verbindung bringt.

(Fig. 119.)



Die ersten Versuche mit der electrischen Flasche haben der Domherr v. Kleist in Kamin in Pommern im November des Jahres 1745 und etwas später Kunnäus, ein Gehülfe des Professor Muschenbröck in Leiden, im März 1746 angestellt, woher die electrische Flasche auch die Namen Kleist'sche und Leidner Flasche erhalten hat. — Kleist hatte einen eisernen Nagel in ein Medicinglas gesteckt, welches etwas Queckfilber enthielt. Als er nun den Nagel und das Queckfilber electrisirt hatte, während er das Medicinglas in der einen Hand hielt, und darauf den Nagel mit der andern Hand berührte, empfand er eine heftige Erschütterung. Das Queckfilber und der Nagel bildeten hierbei die innere, die Hand, mit welcher das Glas gehalten wurde, die äußere Belegung.

Eine Abänderung der electrischen Flasche ist die Franklin'sche Tafel, welche aus einer auf beiden Seiten, bis auf einen frei bleibenden Rand, mit Stanniol belegten Glasscheibe besteht.

§. 124. Versuche mit der electrischen Flasche oder Batterie.

1) Wenn man die äußere Belegung einer geladenen Flasche mit der einen Hand anfaßt und hierauf mit der andern Hand den mit der inneren Belegung in leitender Verbindung stehenden Knopf berührt, so empfindet man eine Erschütterung.

2) Diese kann auch von mehreren Personen zugleich empfunden werden, wenn diese sich mit den Händen anfassen und von den beiden äußersten die eine zuerst die äußere Belegung und hierauf die andere den Knopf berührt.

3) Berührt man an einer Flasche, welche nicht isolirt ist, zuerst die innere Belegung, so erhält man keinen erschütternden Schlag, sondern einen stechenden Funken. Denn da die äußere Belegung durch den Tisch, die innere durch den menschlichen Körper mit dem Fußboden in leitender Verbindung stehen, und da diese Verbindung zum Theil durch Halbleiter, wie der Tisch, Fußboden u. s. w., vermittelt wird, so entladet sich die Flasche allmählig ohne Schlag.

4) Verbindet man die äußere und innere Belegung durch mehrere gleich lange und gleich gute Leiter zugleich, so vertheilt sich der electrische Strom zwischen denselben; haben dieselben aber verschiedene Länge oder verschiedenes Leitungsvermögen, so wählt die Electricität vorzugsweise den kürzeren oder besseren Leiter.

5) Der electrische Strom durchläuft auch die längste Leitung mit unmeßbarer Geschwindigkeit.

6) Führt man den electrischen Schlag durch schlechte Leiter, so werden dieselben durchbohrt oder zerschmettert. Schon durch den Entladungsschlag einer kleinen Flasche läßt sich ein Kartenblatt, vermittelst einer größeren Flasche oder Batterie, welcher man eine starke Ladung ertheilt, ein hölzernes Brettchen oder eine Glasscheibe durchbohren. — Bemerkenswerth ist der Umstand, daß bei einem Kartenblatte das von dem electrischen Schlage hervorgebrachte Loch an beiden Seiten erhabene Ränder hat.

7) Leicht zündbare Körper können durch den electrischen Schlag entzündet werden. Leitet man den Schlag durch Schießpulver vermittelst metallener Dräthe, so wird dieses in der Regel nur umhergeschleudert. Die Entzündung gelingt am besten, wenn man in die Kette einen unvollkommenen Leiter, z. B. einen angefeuchteten Bindfaden einschaltet.

8) Feine Metalle können, wenn man einen kräftigen Schlag einer größeren Flasche oder Batterie durch dieselben leitet, geschmolzen und verflüchtigt werden. — Legt man einen Streifen Goldblatt zwischen zwei Glasscheiben und leitet hierauf den Schlag durch das Goldblatt, so wird dasselbe in das Glas eingebrannt. — Der Versuch gelingt unter übrigens gleichen Umständen um so leichter, je kürzer und dünner der Draht, oder je kürzer und schmaler das Goldblatt ist, durch welches der electrische Schlag hindurchgeführt wird.

9) Führt man den Entladungsstrom einer größeren Flasche oder Batterie vermittelst eines Drathes quer über eine Stahlnadel, so wird dieselbe magnetisch. Dieß gelingt noch besser, wenn man den Draht um eine gläserne Röhre, in welche man die Nadel (wegen der Isolirung) legt, in mehreren Windungen herumgeführt hat.

10) Kleinere Thiere, z. B. Katzen, können durch den Entladungsschlag größerer Batterien getödtet werden.

Den obigen Versuchen reihen wir noch die folgenden Erscheinungen an:

11) Bei starker Ladung geschieht es zuweilen, daß sich Flaschen von selbst entladen, indem das Glas durchbohrt wird, (was die Flasche natürlich unbrauchbar macht), oder indem der Entladungsfunken von der einen Belegung nach der andern über den Rand des Glases überspringt.

12) Wenn man ein an beiden Enden durch Korke verschließbares gläsernes Röhrchen mit Wasser füllt, in die Korke Dräthe so einsenkt, daß ihre Enden innerhalb der Röhre etwas von einander abstehen, und hierauf durch dieselben einen kräftigen electrischen Schlag leitet, so wird die Röhre mit Heftigkeit zerschmettert.

13) Stellt man die Verbindung zwischen der äußeren und inneren Belegung durch eine Leitung her, welche an mehreren Stellen kleine Unterbrechungen hat, z. B. durch eine Kette, welche aus mehreren Gliedern besteht, oder durch eine sogenannte Blitztafel, bei welcher ein auf eine Glastafel aufgeklebter Stanniolstreifen an mehreren Stellen kleine Lücken hat, so erscheinen alle unterbrochenen Stellen bei der Entladung leuchtend.

14) Leitet man den electrischen Schlag über ein Stück Kreide, so zeigt sich auf dem Wege, welchen der Entladungsfunke über die Kreide genommen hat, ein Lichtschein, welcher einige Secunden anhält. Dieselbe Erscheinung bieten auch andere Nichtleiter, Gyps, Zucker u. dgl. dar.

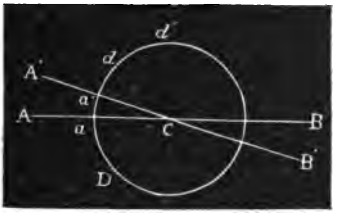
Bei den oben angeführten Versuchen 6 und 11 wird der Erfolg vorzüglich durch die Spannung, bei den Versuchen 7, 8, 9 und 12 aber durch die Menge der in der Flasche oder Batterie angehäuften Electricität bedingt. — Die electrische Spannung läßt sich einigermaßen nach dem Ausschlage des Quadrantenelectrometers, welches man auf den mit der innern Belegung verbundenen Conductor aufsetzt, genauer durch die weiter unten §. 129 zu beschreibende Maaßfläche, messen.

Die Polarität einer durch den electrischen Entbindungsschlag magnetisirten Stahlnadel ist bei schwächeren Ladungen dem Ampère'schen Gesetze (§. 149) entsprechend. Dies ist jedoch bei stärkeren Ladungen nicht immer der Fall, was als eine Folge der dem Drathe, durch welchen der Entladungsschlag hindurchgeführt wird, zugleich erregten inducirten Ströme (§. 130 und 161), welche theils eine dem Hauptstrome gleiche, theils eine entgegengesetzte Richtung haben, angesehen wird.

Um die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Electricität zu bestimmen, hat schon Watson in London 1748 Versuche angestellt und gefunden, daß die Electricität eine längere Drathleitung mit unmeßbarer Geschwindigkeit durchläuft. Zu diesem Zwecke hatte er von dem Zimmer aus, in welchem sich die Electrisirmaschine nebst einer electrischen Flasche befand, zwei Dräthe, deren jeder $^1/_4$ geographische Meile lang war, in mehrfachen Windungen auf isolirenden Holzstäben über ein flaches Feld und wieder zurück in's Zimmer geführt. Der Beobachter, welcher sich im Zimmer befand, hielt in jeder Hand das Ende eines Drathes, das andere Ende des einen Drathes war mit der äußeren Belegung der Flasche verbunden, und das zweite Ende des anderen Drathes wurde dem Knopfe der inneren Belegung genähert; in demselben Momente, in welchem die Entladung der Flasche erfolgte, wurde auch die Erschütterung von dem Beobachter in den Armen und in der Brust empfunden.

In neuerer Zeit (1835) hat Wheatstone durch ein äußerst sinnreiches Verfahren gezeigt, daß die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Electricität fortpflanzt, die Geschwindigkeit des Lichtes noch übertrifft. Wheatstone's Verfahren besteht im Wesentlichen in Folgendem: Wenn man einen senkrecht stehenden Spiegel um eine in der Ebene des Spiegels liegende verticale Axe um irgend einen Winkel dreht, so beschreiben die Bilder aller im Spiegel sich zeigenden Gegenstände Kreisbogen, welche doppelt so viel Grade haben, als der Winkel, um welchen man den Spiegel gedreht hat. Ist z. B. AB, Fig. 120, ein (nach beiden Seiten verlängerter) wagerechter Durchschnitt der Ebene des Spiegels, D ein leuchtender Punkt vor demselben, denkt man sich ferner um den Mittelpunkt der Drehung C einen Kreis mit dem Abstande CD beschrieben und Bogen ad = aD gemacht, so ist offenbar d das Bild des leuchtenden Punktes D. Wird nun der Spiegel in die Lage A'B' gedreht, während der leuchtende Punkt D seine Lage ungeändert beibehält, und wird wieder Bogen a'D = a'd' gemacht, so ist jetzt d' das Bild des leuchtenden Punktes D. Nun ist a'd' = a'D = aa' + aD = aa' + ad = 2aa' + a'd, folglich a'd' — a'd d. h. dd' = 2aa'. Der Bogen dd', welchen das Bild durchläuft, ist also doppelt so groß, als der Bogen aa', um welchen man den Spiegel gedreht hat. Während also der Spiegel einen halben Umlauf macht, beschreibt das Bild einen vollständigen Kreis, und wenn der Spiegel auf beiden Seiten polirt ist, wie dies bei Wheatstone's Versuchen der Fall war, so macht das Bild bei einer vollständigen Umdrehung des Spiegels zwei ganze Umläufe. — Da die Lichteindrücke im Auge nicht augenblicklich vorübergehen, sondern einige Dauer haben, so wird sich bei rascher Umdrehung des Spiegels, wenn der leuchtende Punkt und das Auge in einer zur Drehungsaxe senkrechten Ebene liegen, das Bild eines leuchtenden Punktes als eine zur Drehungsaxe senkrechte Linie und ein leuchtender Gegenstand als ein länglicher Streifen darstellen. Wheatstone drehte nun den Spiegel so rasch, daß derselbe in der Secunde 50 Umläufe machte und folglich $^1/_4$ Grad in dem 72000sten Theile einer Secunde zurücklegte. Wenn daher ein electrischer Funke auch nur die angegebene kurze Dauer hatte, so mußte er im Spiegel schon die deutlich wahrnehmbare Ausdehnung von $^1/_2$ Grad in der Breite erhalten. Electrische Funken jedoch von mehreren Zollen Länge zeigten sich im rotirenden Spiegel, (wenn sie innerhalb des Gesichtsfeldes auftraten, was natürlich von der jedesmaligen Stellung abhing, welche der Spiegel im Moment ihres Hervorbrechens gegen das Auge hatte, und daher nicht bei allen der Fall sein konnte,) ganz eben so wie im ruhenden, wonach denn die Dauer eines solchen Funkens noch nicht den 72000sten Theil einer Secunde betrug.

(Fig. 120.)



Wheatstone stellte nun auch Versuche über die Geschwindigkeit an, mit welcher der Entladungsstrom einer electrischen Flasche eine längere Drathleitung durchläuft. Diese Leitung hatte an drei Stellen a, b und c eine ganz kurze Unterbrechung, von a bis b

durchlief der electrische Strom einen in mehreren Windungen fortgeführten Draht von der Länge einer englischen Viertelmeile und einen eben so langen Draht von b bis c. Im ruhenden Spiegel erschienen bei der Entladung der Flasche drei Funken in folgender a.
Stellung b.; als aber der Spiegel so rasch gedreht wurde, daß er 800 Umläufe in der c.
Secunde machte, so erschienen 1) sämmtliche Bilder in die Länge gezogen, und 2) das mittlere gegen die beiden äußeren etwas verschoben, und zwar bei der Umdrehung des
Spiegels nach der rechten Seite so b ——, bei der Umdrehung nach der linken
Seite so b ——.

Wheatstone schloß hieraus Folgendes:

1) Da die Bilder aller drei Funken in die Länge ausgedehnt erscheinen, so geht hieraus hervor, daß die Entladung einer electrischen Flasche durch einen solchen längern Leitungsdraht nicht augenblicklich, sondern allmählig geschieht.

2) Da die Verschiebung des mittleren Funkenbildes gegen die beiden äußeren ohngefähr $^1/_2{}^0$ betrug, so muß derselbe gegen die beiden anderen um ein Zeitintervall zurückgeblieben sein, während dessen sich der Spiegel um $^1/_4{}^0$ gedreht hat. Da nun der Spiegel in einer Secunde 800 Umläufe machte, also $^1/_4{}^0$ in dem 1152000sten Theile einer Secunde zurücklegte, so hatte der electrische Strom diese Zeit gebraucht, um die Drathlänge von $^1/_4$ engl. Meile zu durchlaufen, und er würde folglich, wenn seine Geschwindigkeit dieselbe bleibt, in einer ganzen Secunde 288000 englische oder ohngefähr 62000 geographische Meilen zurücklegen, während das Licht in einer Secunde nur 41500 geographische Meilen zurücklegt.

Ferner folgt noch aus dem Zurückbleiben des mittleren Funkenbildes gegen die beiden äußeren, daß der electrische Strom nicht von einer Belegung zur andern, sondern von beiden Belegungen zugleich ausgeht.

Die später von anderen Physikern (an den Drähten electrischer Telegraphen) über die Geschwindigkeit der Electricität angestellten Versuche stimmen zwar darin überein, daß die Electricität auch die längste Drahtleitung mit einer sehr großen Geschwindigkeit durchläuft; sie weichen jedoch in der Bestimmung der absoluten Größe dieser Geschwindigkeit von einander und von dem durch Wheatstone erhaltenen Resultate sehr bedeutend ab. So erhielt Walker in Amerika durch seine Versuche nur eine Geschwindigkeit von 4000 Meilen für die Secunde, Fizeau in Frankreich fand diese Geschwindigkeit in einem Eisendrathe von ohngefähr zwei Linien Durchmesser gleich 14000, in einem Kupferdrathe von etwas mehr als einer Linie Durchmesser gleich 24000 Meilen.

Diese Verschiedenheiten werden nach den von Faraday (1853) angestellten Untersuchungen durch das den Leitungsdraht umgebende Medium bedingt. Indem nehmlich die an dem Ende des Drathes in denselben einströmende positive oder negative Electricität, während sie den Draht durchläuft, vertheilend auf das umgebende Medium einwirkt, die entgegengesetzte Electricität in demselben anzieht und ihrerseits von dieser angezogen wird, erfährt sie bei ihrer Fortbewegung eine Verzögerung, welche bei unter der Erde oder im Wasser fortgeführten, (durch Guttapercha isolirten,) Drähten viel beträchtlicher, als bei den durch die Luft fortgeleiteten Drähten ist. Dagegen dürfte die Fortpflanzungsgeschwindigkeit unabhängig von der Intensität des fortgepflanzten Stromes sein.

Unter den Wirkungen des electrischen Funkens haben wir noch anzuführen, daß durch denselben Spuren von Salpetersäure, zu welcher sich der Stickstoff und Sauerstoff der atmosphärischen Luft vereinigen, gebildet werden, wie dies schon Cavendish 1788 beobachtet hat.

§. 125. Die electrische Natur des Gewitters.

Die im Vorhergehenden, besonders im letzten Paragraphen angeführten Erscheinungen haben mit den Wirkungen des Blitzes eine solche Aehnlichkeit, ja sie ahmen dieselben so vollständig nach, daß nach Erfindung der electrischen Flasche den Physikern kaum noch ein Zweifel über die electrische Natur des Gewitters bleiben konnte. Besonders Franklin, dessen sogleich anzuführenden Versuchen wir den directen Beweis für diese Behauptung verdanken,

hatte schon in seinem 1747 bis 1754 verfaßten Briefen für die Richtigkeit derselben folgende überzeugende Gründe aufgeführt:

1) Der Blitz durchläuft in der Luft eben so, wie längere electrische Funken, gewöhnlich eine Zickzacklinie.

2) Die Blitze treffen vorzugsweise die höchsten (also nächsten) und spitzigsten Gegenstände. Dasselbe gilt von den electrischen Funken.

3) Der Blitz folgt auf seinem Wege vorzüglich den besten Leitern der Electricität.

4) Brennbare Gegenstände werden vom Blitze entzündet und

5) Metalle häufig geschmolzen.

6) Schlechte Leiter werden vom Blitze zerschmettert oder durchbohrt.

7) Der Blitz tödtet Thiere und Menschen.

8) Der Blitz übt magnetische Wirkungen aus; er macht Eisen- oder Stahlstäbe, in deren Nähe er vorbeigeht, magnetisch; und umgekehrt kennt man Fälle, in denen der Blitz den Magnetismus der Compaßnadeln zerstörte oder umkehrte.

Zu diesen Erscheinungen fügen wir noch

9) den eigenthümlichen Geruch (nach Ozon) hinzu, welcher nach Blitzschlägen wahrgenommen und von Beobachtern, welche denselben nicht näher zu characterisiren vermögen, gewöhnlich als Schwefelgeruch bezeichnet wird.

10) Gewitter veranlassen an electrischen Telegraphen unregelmäßige Zeichen.

Auf die angeführten Gründe gestützt, machte nun Franklin den kühnen Versuch, die Electricität der Gewitterwolken unmittelbar zur Erde nieder zu leiten. Zu diesem Zwecke ließ er im Juni 1752 bei einem herannahenden Gewitter in der Nähe von Philadelphia einen Drachen (Windvogel) emporsteigen, an welchem ein aufrecht stehender zugespitzter Drath befestigt war. Das letzte Ende der Schnur, welches er in der Hand hielt, war von Seide, und an der hänfenen Schnur selbst war ein Schlüssel angehängt. Anfangs zeigte sich keine Spur von electrischen Wirkungen, und Franklin wollte schon an dem Erfolge verzweifeln. Da bemerkte er, daß, als die Gewitterwolke sich mehr genähert hatte, einige lose Fäden an der hänfenen Schnur sich emporsträubten, und als er nun, durch diese Erscheinung ermuthigt, dem Schlüssel den Finger näherte, erhielt er electrische Funken, welche noch lebhafter wurden, nachdem herabfallender Regen die Schnur naß und so zu einem besseren Leiter gemacht hatte.

Bald nachher richtete Franklin an seinem Wohnhause in Philadelphia eine isolirte eiserne Stange auf. An dem untern Ende derselben befestigte er zwei Glöckchen, (nach Art des electrischen Glockenspiels,) welche anschlugen und ihn durch ihr Läuten aufmerksam machten, wenn die Stange mit Electricität geladen war. Er beobachtete so zu wiederholten Malen während Gewittern, welche über die Stadt zogen, electrische Erscheinungen und häufiger negative, als positive Electricität.

Aehnliche Versuche mit einen isolirten eisernen Stange waren nach Franklin's Vorschlägen schon ein Monat früher, im Mai 1752 (ohne daß Franklin hiervon eine Nachricht erhalten hatte,) von französischen Physikern angestellt worden und sind seitdem vielfachst von verschiedenen Physikern wiederholt worden. Diese Versuche sind jedoch, wenn die nöthigen Vorsichtsmaaßregeln außer Acht gelassen werden, für den Beobachter mit Gefahr verbunden, wie das Beispiel von Richmann in Petersburg beweist, welcher am 6. August 1753 ein Opfer seiner wissenschaftlichen Bemühungen und von einem Blitzstrahle getödtet wurde, welcher an der isolirten eisernen Stange

niederfuhr und nach der Beobachtung des in dem nehmlichen Zimmer anwesenden Malers Sokolow in Gestalt eines Feuerballs von dem Ende der Stange nach Richmann's Kopf übersprang.

*§. 126. Verbreitung der Electricität.

Nachdem wir uns im Vorhergehenden fast ausschließlich mit den Wirkungen des electrischen Funkens beschäftigt haben, wenden wir uns nun wieder zu solchen Untersuchungen, welche die Ermittelung der Gesetze, denen die electrischen Erscheinungen überhaupt unterworfen sind, zu ihrem Gegenstande haben.

1) Die Electricität verbreitet sich bei guten Leitern vorzüglich nur an der Oberfläche, ohne beträchtlich in das Innere derselben einzudringen, wie schon der Umstand zeigt, daß ein hohler Conductor die nehmlichen electrischen Erscheinungen darbietet, wie ein massiver.

2) Die Electricität wird an der Oberfläche der Körper durch den Widerstand der schlecht leitenden Luft zurückgehalten. Stark verdünnte Luft durchdringt die Electricität um so leichter, je höher der Grad der Verdünnung ist, wobei man im Dunkeln eine sehr schöne Lichterscheinung wahrnimmt. — Um dieses zu zeigen, dient das sogenannte electrische Ei, Fig. 121, welches aus einem gläsernen Ballon besteht, welcher an seinen Enden mit messingnen Fassungen versehen ist, deren eine sich auf eine Luftpumpe aufschrauben und nach möglichster Verdünnung der Luft durch einen Hahn verschließen läßt. Im Innern des Ballons sind zwei Dräthe angebracht, welche in Kugeln enden, zwischen denen die Electricität unter lebhafter Lichtentwickelung überströmt. —

(Fig. 121.)

Eben so bemerkt man bei einem Schwanken des Barometers ein Leuchten der sogenannten Torricelli'schen Leere, welches der durch die Reibung des Queckſilbers an den Wänden des Glases erregten Electricität seine Entstehung verdankt.

3) An einem isolirten kugelförmigen Conductor verbreitet sich die Electricität gleichförmig über die ganze Oberfläche; an einem länglichen Leiter dagegen häuft sie sich stärker an den Enden, als in der Mitte an, was dadurch begreiflich wird, daß die gleichnamigen Electricitäten beider Hälften sich abstoßen, also sich gegenseitig zu fliehen suchen. Am stärksten häuft sich die Electricität in Spitzen an.

4) Hierin ist auch der Grund enthalten, warum Spitzen die Electricität so leicht in die umgebende Luft ausströmen. Es müssen daher an einem Conductor, welcher seine Electricität längere Zeit behalten soll, Spitzen sorgfältig vermieden werden. Ueberhaupt muß derselbe eine möglichst glatte und reine Oberfläche darbieten. — Auch durch eine genäherte Spitze kann einem electrisirten Körper schon aus einer ziemlichen Entfernung Electricität entzogen werden, indem in der genäherten Spitze, wie wir weiter unten zeigen

werden, sich die entgegengesetzte Electricität in hohem Maaße anhäuft. — Man bemerkt bei dem Ausströmen der Electricität aus Spitzen keine eigentlichen Funken, sondern leuchtende Strahlenbüschel, welche als durch eine unzählige Menge sehr kleiner Funken gebildet angesehen werden können*). Die nehmliche Wirkung wie eine Spitze, aber in noch stärkerem Maaße, giebt eine Flamme, vermöge der von derselben aufsteigenden Ströme leitender Dämpfe**).

5) Ist die Electricität über die Oberfläche eines Körpers gleichmäßig verbreitet, so ist die Dichte oder Spannung derselben der Menge der vorhandenen Electricitäten direct, der Größe der Oberfläche aber umgekehrt proportional.

6) Werden zwei gleichförmige electrische Körper mit einander in Berührung gebracht oder leitend verbunden, und besitzt die Electricität in beiden dieselbe Spannung, so giebt keiner dem andern Electricität ab. Ist aber in dem einen die Spannung der Electricität stärker, als im andern, so geht im Allgemeinen aus dem erstern Electricität in den andern Körper über, bis die Spannung der Electricität in beiden dieselbe ist.

7) Wird einem electrischen Leiter ein anderer unelectrischer allmählig genähert, so hängt die Entfernung, in welcher die Electricität aus dem einen in den andern übergeht, nicht allein von der Menge der in dem einen angehäuften Electricität, sondern auch von der Gestalt der genäherten Enden beider Körper ab. Bei Kugeln von größerem Durchmesser ist diese Entfernung geringer, als bei Kugeln von kleinerem Durchmesser, und sie ist überhaupt um so kleiner, je mehr sich die gegenüberstehenden Flächen der Ebene nähern. Ist der eine Körper ein schlechter, der andere ein guter Leiter, oder sind beide schlechte Leiter, und besitzt die Electricität des einen keine allzu hohe Spannung, so können sie mit ihren flachen Seiten bis zur Berührung einander genähert werden, ohne daß ein Uebergang der Electricität aus dem einen zum andern stattfindet, (wie man sehr deutlich an dem Kuchen und Deckel eines Electrophors sehen kann). Hierauf mag es auch wohl beruhen, daß kleine Papierscheibchen von einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange häufig nur angezogen, aber nicht wieder abgestoßen werden.

8) In ihren Wirkungen in die Ferne folgt die Electricität dem allgemeinen Naturgesetze, dem fast alle bekannten Naturkräfte, Schwere, Magnetismus, Licht, Wärme u. s. w., unterworfen sind; es verhalten sich nemlich die electrischen Anziehungen und Abstoßungen umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen.

9) Da hiernach die anziehende oder abstoßende Kraft eines electrischen Körpers mit der Entfernung sehr rasch abnimmt, so können die Wirkungen derselben allemal nur innerhalb einer gewissen beschränkten Entfernung wahrgenommen werden. Man nennt die Entfernung, innerhalb welcher ein electrischer Körper noch deutlich wahrnehmbare Wirkungen äußert, den electrischen Wirkungskreis oder auch die electrische Atmosphäre desselben.

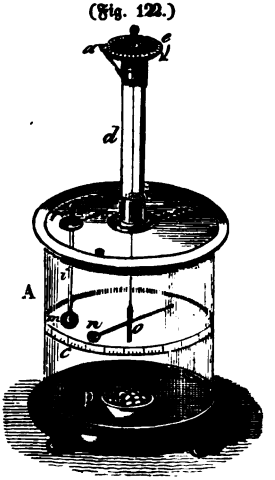
Das Gesetz über die Abnahme der electrischen Kraft mit der Entfernung hat Coulomb ums Jahr 1787 vermittelst seiner electrischen Drehwage, Fig. 122, nachgewiesen.

*) Vergl. oben §. 122 Anm.

**) Die Flamme gewährt auch ein bequemes Mittel, einem electrisirten Körper, ins Besondere einem schlechten Leiter seine Electricität vollständig zu entziehen; man hat hierzu nur nöthig, denselben nahe über die Flamme hinzuführen.

Diese besteht aus einem weiten gläsernen Cylinder A, dessen oberer Boden durchbohrt ist und hier einen engeren Cylinder d trägt. Innerhalb dieser beiden Cylinder ist ein feiner Metallfaden aufgehängt, welcher mit seinem oberen Ende an einer drehbaren, kreisförmigen und an ihrem Umfange in Grade eingetheilten Scheibe e befestigt ist. Zur Abmessung dieser Drehung dient eine an dem Cylinder d befestigte Marke a. An dem unteren Ende des feinen Metallfadens ist ein metallenes Stäbchen o und an diesem eine horizontal schwebende dünne Schellacknadel angebracht, welche an einem Ende ein kleines Kügelchen n von Holundermark trägt und über einem in Grade getheilten Kreise c spielt. Wird die kleine Scheibe oben bei e um eine gewisse Zahl von Graden gedreht, so durchläuft auch die Schellacknadel eben so viele Grade am untern Kreise. — Seitwärts ist in dem Deckel des größeren Cylinders bei r eine Oeffnung angebracht, durch welche ein ebenfalls an einem Schellackfaden l befestigtes Korkkügelchen m so eingesenkt werden kann, daß es genau der Null des eingetheilten Kreises gegenüber steht, (wobei es natürlich das Kügelchen n seitwärts aus seiner Lage verdrängt). — Um die Luft im Innern möglichst trocken zu erhalten, pflegt man auf dem Boden des größeren Cylinders A ein Schälchen p mit Stücken von Chlorcalcium aufzustellen. —

(Fig. 122.)



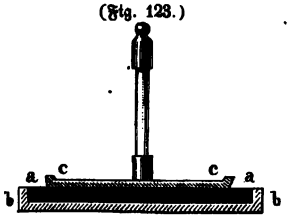
Coulomb stellte mit der Drehwage folgenden Versuch an: Er theilte dem Kügelchen m Electricität mit, senkte es durch die Oeffnung r ein, wo es nach der Berührung das Kügelchen n gleichnamig electrisirte und um einen Winkel von 36 Grad forttrieb. Hierauf drehte Coulomb den oberen Kreis e gegen die Ordnung der Zahlen so lange, bis der Ablenkungswinkel nur noch 18° betrug. Hierzu war eine Drehung dieses Kreises von 126° erforderlich. Bei dem ersten Versuche standen die Kugeln n und m um 36°, beim zweiten um 18° von einander ab; die beiden Abstände verhielten sich also wie 2 : 1. Bei dem ersten Versuche betrug die Torsion des Drahtes, welcher die Schellacknadel trägt, 36°, bei dem zweiten $18° + 126° = 144°$. Die Torsionen des Drathes verhielten sich also wie $36° : 144° = 1 : 4$, also gerade umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen. — Zu diesen Versuchen ist erstens zu bemerken, daß die wahren Abstände der Kugeln nicht durch die Bogen selbst, sondern eigentlich durch die zugehörigen Sehnen gemessen werden. Bei der geringen Größe der Bogen ließen sich jedoch dieselben ohne erheblichen Fehler mit den Sehnen verwechseln. Zweitens ist hierbei vorausgesetzt, daß die Kraft, welche erforderlich ist, den Draht um einen bestimmten Winkel zu drehen, der Größe dieses Winkels proportional ist. Von der Richtigkeit dieser Voraussetzung hatte sich Coulomb schon durch vorläufige Versuche überzeugt. Er theilte nehmlich dem Kügelchen m Electricität mit und bestimmte die Drehung des Kreises e, welche erforderlich war, um die Kugeln n und m einander auf einen bestimmten Abstand zu nähern. Hierauf berührte er das Kügelchen m mit einem ihm ganz gleichen Kügelchen, wodurch natürlich die Electricität und also auch die abstoßende Kraft desselben auf die Hälfte sank, und fand jetzt, daß auch der Kreis e nur um einen halb so großen Winkel gedreht werden mußte, um wieder das Kügelchen n auf denselben Abstand von m zurückzuführen. Er berührte dann das Kügelchen m nochmals mit einem ihm gleichen Kügelchen, wodurch seine Electricität, und wie Coulomb fand, auch der Drehungswinkel des Drahtes auf den vierten Theil herabging, so daß also die Drehungswinkel des Drahtes sich wie die abstoßenden Kräfte verhielten.

Die Coulomb'sche Drehwage eignet sich auch ganz besonders zu Versuchen über die gleichförmige oder ungleichförmige Vertheilung der Electricität über die Oberfläche eines Leiters. Man berührt nehmlich denselben an verschiedenen Stellen mit einem kleinen Scheibchen aus Blattgold, Probescheibchen, welches an einem isolirenden Schellackfaden befestigt ist, und mißt die Stärke der demselben in jedem einzelnen Falle mitgetheilten Electricität in ähnlicher Art, wie oben angegeben worden, vermittelst der Drehwage.

§. 127. Der Electrophor und die electrische Vertheilung (Influenz).

Zu neuen Gesetzen über die Electricität werden wir durch die Erscheinungen des Electrophors (Fig. 123) geführt. Dieser besteht aus dem Harzkuchen aa, der metallischen Form bb und dem ebenfalls metallischen Deckel cc, welcher mit einem isolirenden Handgriffe versehen ist. — Wird der Kuchen mit einem thierischen Felle, z. B. mit einem Katzenfelle oder Fuchsschwanze, gepeitscht, so wird derselbe negativ electrisch und zeigt nun weiter folgende Erscheinungen:

(Fig. 123.)



1) Setzt man den Deckel auf den Kuchen und hebt ihn an dem isolirenden Handgriffe auf, ohne ihn selbst irgend wie berührt zu haben, so zeigt derselbe gar keine Electricität.

2) Setzt man den Deckel abermals auf den Kuchen und berührt ihn mit dem Finger, so erhält man einen Funken und zwar mit negativer Electricität, (wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man den Deckel nicht mit dem Finger, sondern mit einem isolirten Leiter berührt.)

3) Hebt man jetzt den Deckel auf, so erhält man einen zweiten Funken und zwar mit positiver Electricität.

Dieselben Erscheinungen, aber in schwächerem Maaße, werden auch dann noch erhalten, wenn man den Deckel dem Kuchen nicht bis zur Berührung nähert, sondern überhaupt nur den Deckel in den electrischen Wirkungskreis der negativen Electricität des Kuchens bringt.

Die angeführten Versuche lassen sich beliebig oft wiederholen, ohne daß hierbei der Kuchen merklich an Electricität verliert. Erst nach längerer Zeit und häufig fortgesetzter Wiederholung treten die angeführten Erscheinungen in schwächerem Maaße auf.

Fragen wir nach dem Grunde der in dem Deckel abwechselnd sich zeigenden entgegengesetzten Electricitäten, so leuchtet zunächst ein, daß dieselben nicht in dem Deckel durch Mittheilung von dem Kuchen entstanden sein können. Denn erstens verliert derselbe hierbei nicht merklich an Electricität, und dann besitzt der Kuchen nur negative Electricität, während in dem Deckel beide entgegengesetzte Electricitäten auftreten. Da der Deckel dieselben also nicht durch Mittheilung von dem Kuchen erhalten haben kann, so scheint es am natürlichsten, anzunehmen, daß dieselben schon ursprünglich in dem Deckel vorhanden waren, jedoch in einem solchen Maaße, daß sie sich gegenseitig das Gleichgewicht hielten. Als aber der Deckel auf dem Kuchen aufgesetzt wurde, wurde das vorher bestandene Gleichgewicht der entgegengesetzten Electricitäten des Deckels aufgehoben, die negative des Deckels von der negativen Electricität des Kuchens abgestoßen, die positive aber angezogen. Berührten wir jetzt den Deckel mit dem Finger, so konnte die abgestoßene negative Electricität des Deckels nach dem Erdboden entfliehen, während die positive Electricität des Deckels von der negativen des Kuchens festgehalten wurde. Entfernten wir hierauf den Deckel von dem Kuchen und näherten dem Deckel den Finger, so wurde jetzt im zweiten Funken auch die positive Electricität des Deckels abgeleitet.

Wenden wir statt des negativ electrisirten Harzkuchens eine Glasscheibe an, welche wir durch Reiben mit einem wollenen Lappen positiv electrisiren, so erhalten wir dieselben Erscheinungen, nur mit dem Unterschiede, daß die entgegengesetzten Electricitäten in dem Deckel jetzt in umgekehrter Folge auftreten.

In Uebereinstimmung mit den angeführten Erscheinungen stellen wir nun folgende Gesetze auf, welche wir auch noch durch weiter unten anzuführende Versuche bestätigen werden:

1) Jeder Körper besitzt beide Electricitäten.

2) In einem unelectrischen Körper, d. h. in einem Körper, welcher keine electrischen Erscheinungen zeigt, halten sich beide entgegengesetzte Electricitäten das Gleichgewicht, so nehmlich, daß, was die eine anzieht, die andere eben so stark abstößt. Man sagt daher: in einem unelectrischen Körper binden sich die entgegengesetzten Electricitäten gegenseitig.

3) In einem positiv electrischen Körper hat die positive, in einem negativ electrischen Körper die negative Electricität das Uebergewicht. Man nennt diesen Ueberschuß der einen Electricität über die andere freie Electricität zum Unterschiede von der gebundenen.

4) Durch die freie Electricität eines positiv oder negativ electrisirten Körpers (z. B. des Kuchens) wird auch in jedem anderen Körper (z. B. dem Deckel), welchen man in den Wirkungskreis desselben bringt, das electrische Gleichgewicht aufgehoben, die gleichnamige Electricität abgestoßen und die ungleichnamige angezogen. Man sagt von diesem letzteren Körper: er sei durch Vertheilung oder Influenz electrisirt.

Der Electrophor ist 1775 von Volta erfunden worden.

Eine brauchbare Mischung zu dem Harzkuchen eines Electrophors ist folgende: 8 Theile Harz (Colophonium), 1 Theil Schellack und 1 Theil venetianischer Terpentin. Die aus Harz gegossenen Kuchen bekommen jedoch wegen der ungleichen Ausdehnung des Kuchens und der Form durch die Wärme gewöhnlich bald Sprünge. Dieser Uebelstand wird vermieden bei einem Blatte Gutta-Percha, welches auf ein mit Stanniol überzogenes Brettchen ausgebreitet wird und so einen wohlfeilen Electrophor liefert.

Wenn man an einem Electrophor zuerst die Form anfaßt und dann, (ohne die Form loszulassen), den Deckel berührt, so empfindet man einen electrischen Schlag, wie von einer schwach geladenen Flasche; und wirklich stellen die drei Theile des Electrophors, Deckel, Kuchen und Form, zusammen eine negativ geladene electrische Flasche dar, von welcher der Deckel die innere und die Form die äußere Belegung bildet. — Eben so hat auch der Funken, welchen man erhält, wenn man allein den auf dem Deckel aufliegenden Kuchen berührt, volle Uebereinstimmung mit dem eigenthümlich stechenden Funken, welchen man bekommt, wenn man den Knopf der inneren Belegung einer geladenen Flasche berührt, deren äußere Belegung mit der Erde in leitender Verbindung steht.

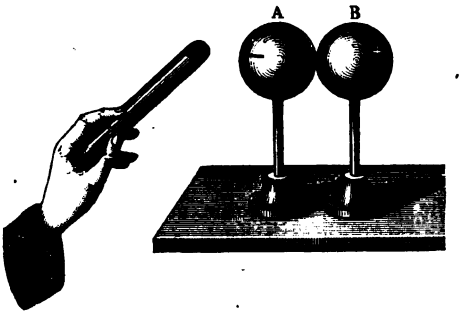
*§. 128. Fortsetzung der Versuche über electrische Vertheilung (Influenz).

Die im Vorhergehenden über die electrische Influenz entwickelten Gesetze stimmen ganz mit den oben (§. 106) aufgeführten Gesetzen über die magnetische Influenz überein, nur mit dem Unterschiede, daß die beiden Magnetismen immer an dem nehmlichen Körper zugleich auftreten, — sich niemals, wie dies bei der Electricität der Fall ist, gesondert erhalten lassen. — Im weiteren Zusammenhange hiermit führen wir noch folgende Versuche an:

1) Wenn man zwei isolirte Leiter, z. B. zwei metallene Kugeln A und B, einander bis zur Berührung nähert, und dann einer dieser Kugeln einen positiv electrisirten Körper, z. B. eine geriebene Glasstange in der Art, wie dieses

Fig. 124 zeigt, gegenüber hält, so geht aus der Kugel A in die Kugel B abgestoßene positive, aus dieser in jene angezogene negative Electricität über, welche man gesondert erhält und auf die in §. 120 angegebene Art nachweisen kann, wenn man zuerst die Kugel B und dann auch die Kugel A entfernt.

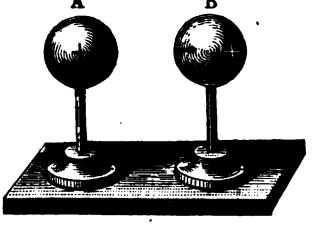
(Fig. 124.)



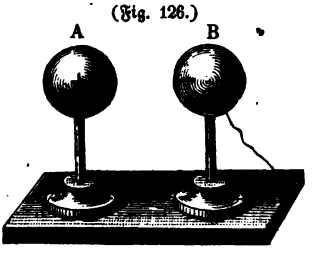
2) Nähert man dann die Kugeln A und B einander wieder bis auf einen kleinen Abstand, so sieht man zwischen beiden einen electrischen Funken überspringen, und die Kugeln verhalten sich nun wieder vollkommen unelectrisch. — Aus diesem Versuche folgt unzweideutig, daß der electrische Funke durch die Vereinigung der beiden entgegengesetzten Electricitäten entsteht, welche sich in demselben gegenseitig aufheben, neutralisiren.

3) Dasselbe ist auch dann der Fall, wenn nur der eine der beiden genäherten Körper ursprünglich mit Electricität geladen war. Theilen wir nehmlich z. B. der gehörig isolirten Kugel A, Fig. 125, auf irgend eine Art positive Electricität mit und nähern dann derselben die ebenfalls isolirte Kugel B, so wird auch in dieser das electrische Gleichgewicht aufgehoben, die positive Electricität abgestoßen, die negative aber angezogen. Werden beide Kugeln A und B einander so weit genähert, daß die Anziehung der entgegengesetzten Electricitäten in A und B den Leitungswiderstand der beide trennenden Luftschicht zu überwinden vermag, so vereinigt sich ein Theil der positiven Electricität von A mit der angezogenen negativen Electricität von B in einem die Luft durchbohrenden Funken. Indem hierbei A positive, B negative Electricität abgiebt, welche sich gegenseitig neutralisiren, muß in B offenbar eben so viel positive Electricität frei werden, als A verloren hat, wonach es gerade das Ansehen hat, als ob B von A positive Electricität empfangen hätte, während nach der vorstehenden Entwickelung die freie positive Electricität in B vielmehr dadurch hervorgerufen wird, daß B negative Electricität abgiebt, welche sich mit positiver Electricität von A in dem Funken vereinigt und neutralisirt.

(Fig. 125.)



(Fig. 126.)



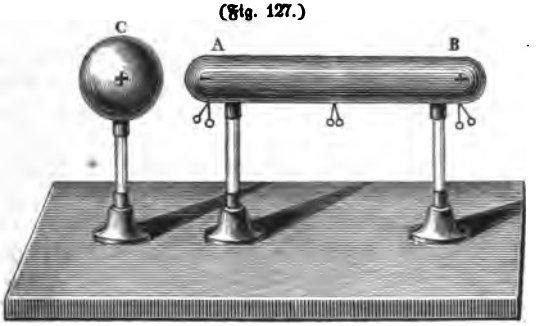
4) Wenn die Kugel B nicht, wie in dem eben beschriebenen Versuche, isolirt ist, sondern mit der Erde in leitender Verbindung steht, Fig. 126, so zeigt sich dieselbe auch nach dem Hervorbrechen des Funkens un-

electrisch, indem die abgestoßene positive Electricität in den Erdboden entflieht. Die Kugel A verliert ihre positive Electricität jetzt vollständiger, als in dem vorher beschriebenen Versuche, bei welchem die frei gewordene positive Electricität in B, Fig. 125, der Vereinigung der positiven Electricität von A und der negativen von B entgegenwirkte.

5) Aus dem Vorhergehenden folgt auch noch, daß, so wie alle magnetische Anziehung nur zwischen ungleichnamigen Polen stattfindet, es auch keine andere electrische Anziehung giebt, als zwischen entgegengesetzten Electricitäten. — Denn wenn wir z. B. ein an einem seidenen Faden aufgehängtes Korkkügelchen in den Wirkungskreis eines positiv electrisirten Körpers bringen, so wird das Kügelchen zunächst durch Vertheilung electrisirt. Da nun in der näheren Hälfte sich die angezogene negative und in der ferneren Hälfte sich die abgestoßene positive Electricität ansammelt, so überwiegt offenbar die Anziehung die Abstoßung, und das Kügelchen muß folglich das Bestreben zeigen, sich dem electrisirten Körper zu nähern.

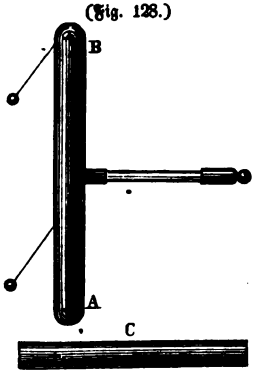
6) Wenn wir bei den obigen Versuchen beispielsweise immer von einem positiv electrisirten Körper ausgegangen sind, so bedarf es wohl kaum der Bemerkung, daß ein Körper mit freier negativer Electricität auf die in seinen Wirkungskreis gebrachten Körper ganz dieselben Wirkungen ausübt, nur mit dem von selbst einleuchtenden Unterschiede, daß jetzt die positive Electricität angezogen und die negative abgestoßen wird.

(Fig. 127.)



Wenn man einem isolirten länglichen Leiter, Fig. 127, an verschiedenen Stellen Korkkügelchen anhängt und dem einen Ende desselben irgend einen, z. B. positiv electrisirten Körper gegenüber hält, doch in hinreichender Entfernung, daß zwischen beiden kein unmittelbarer Uebergang der Electricität stattfindet, so sieht man die an den Enden angebrachten Korkkügelchen aus einander gehen und zwar die am genäherten Ende A mit negativer, die am entgegengesetzten Ende B mit positiver Electricität, während es gegen die Mitte hin eine Stelle giebt, an welcher die Korkkügelchen ganz in Ruhe bleiben. — Die Kügelchen fallen sämmtlich wieder zusammen, wenn der Leiter C entfernt wird. — Der so eben beschriebene Versuch, in welchem der Leiter AB, Fig. 127, ganz das Bild eines Magneten darstellt, gelingt, wenn er in der angeführten Weise ausgeführt wird, in so fern weniger leicht, als die bei A angebrachten Korkkügelchen stark nach C hingezogen werden. Rieß hat diesen Versuch in der Art abgeändert, wie dies Fig. 128 darstellt. AB ist ein länglicher Leiter, welcher an einem isolirenden Griffe in senkrechter Lage gehalten wird, und an welchem, gegen die Enden hin, zwei Korkkügelchen angebracht sind, und C ist ein denselben von unten genäherter electrisirter Körper, als welchen man besser einen schlechten, als einen guten Leiter, z. B. eine geriebene Glas- oder Siegellackstange anwendet, weil von diesen weniger leicht ein wirklicher Uebergang der Electricität stattfindet.

(Fig. 128.)



Aus den Gesetzen der electrischen Vertheilung erklärt sich auch noch leicht die Erscheinung, daß ein stark electrisirter Körper einen gleichnamigen, aber schwach electrisirten Körper anzuziehen vermag, indem der erstere die gleichnamige Electricität des letztern überwältigt und zurückdrängt und die ungleichnamige in der näheren Hälfte heranzieht, weshalb bei der Prüfung der Electricität eines Körpers eben so, wie beim Magnetismus, nur die Abstoßung eine sichere Entscheidung gewährt, während die Anziehung zu Täuschungen führen kann.

Das Princip der electrischen Influenz ist zuerst in den Jahren 1753—59 (?) durch die Untersuchungen des Engländers Canton, des Schweden Wilke und des Deutschen Arpinus ermittelt worden. Zwar hatten die Physiker schon früher mehrfach wahrgenommen, daß ein Leiter der Electricität, wenn er in die Nähe eines electrisirten Körpers gebracht wurde, electrische Erscheinungen zeigte, ohne daß zwischen beiden Körpern ein Uebergang von Electricität stattgefunden. Die Physiker, und selbst noch Franklin, erklärten jedoch diese Erscheinungen durch die Annahme, daß die electrisirten Körper von electrischer Materie, gleichsam einer electrischen Atmosphäre, umgeben seien, welche auf einen in dieselbe eingetauchten Körper übergehe. — Besonders Wilke und Arpinus deckten das Irrthümliche dieser Ansicht auf, indem sie zeigten, daß ein in die Nähe eines electrisirten Körpers gebrachter Leiter am genäherten Ende nicht die gleichnamige, sondern die entgegengesetzte Electricität erhält.

§. 129. Erklärung der Erscheinungen der electrischen Flasche.

Die Erscheinungen der electrischen Flasche beruhen wesentlich auf dem Gesetze der Vertheilung. Bringt man nehmlich die äußere Belegung einer Flasche mit dem Erdboden, die innere mit dem Conductor einer thätigen Electrisirmaschine in Verbindung, so wird der innern Belegung von dem Conductor die gleichnamige, z. B. positive Electricität mitgetheilt. Diese positive Electricität der innern Belegung wirkt nun vertheilend auf die beiden entgegengesetzten Electricitäten der äußern Belegung, stößt die positive ab, welche in den Erdboden entweicht, und zieht negative Electricität an, welche ihrerseits wieder anziehend und bindend auf die positive Electricität der innern Belegung wirkt, so daß jetzt aufs Neue aus dem Conductor positive Electricität in die innere Belegung übergeht, welche aufs Neue in der äußern Belegung negative Electricität anzieht u. s. f. Durch diese gegenseitige Anziehung und Bindung der entgegengesetzten Electricitäten der beiden Belegungen geschieht es, daß sich die positive in der innern und die negative Electricität in der äußern Belegung in einer weit größern Menge ansammelt, als ohnedies der Fall sein würde.

Da sich die beiden Electricitäten offenbar um so stärker anziehen und um so vollständiger binden, je geringer der Abstand derselben von einander ist, weil die electrischen Anziehungen mit der Entfernung abnehmen, so begreift man leicht, daß eine Flasche unter übrigens gleichen Umständen eine um so stärkere Ladung annehmen muß, je dünner das beide Belegungen trennende Glas ist. Wenn dieses jedoch allzudünn ist, so erwächst hieraus die Gefahr, daß die sich anziehenden entgegengesetzten Electricitäten sich vereinigen, indem sie das Glas durchbohren und so die Flasche unbrauchbar machen.

Weiter sieht man nun auch ein, warum eine Flasche nur eine ganz schwache Ladung annehmen kann, wenn die äußere Belegung isolirt ist. Nähert man der äußern Belegung einer Flasche, welche man auf eine isolirende Unterlage gestellt hat, einen Leiter, während die innere Belegung aus dem Conductor positive Electricität erhält, so springt die abgestoßene positive Electricität der äußern Belegung in Funken nach dem genäherten Leiter über, und die Flasche wird geladen.

Wenn man die äußere und innere Belegung einer geladenen Flasche durch einen guten Leiter verbindet, so vereinigen sich die in den beiden Belegungen

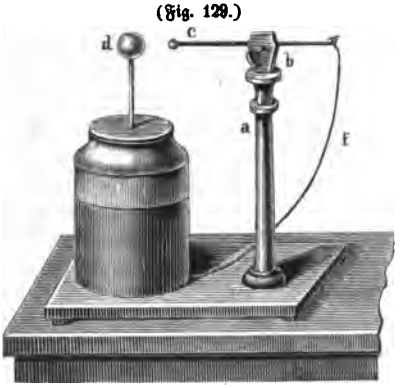
angehäuften entgegengesetzten Electricitäten in einen Funken und die Flasche wird entladen.

Verbindet man an einer Flasche beide Belegungen mit dem Erdboden, so entladet sich die Flasche ohne Schlag, indem die entgegengesetzten Electricitäten in den Erdboden entfliehen.

Stellt man eine geladene Flasche auf eine isolirende Unterlage und nähert man dem Knopfe der innern Belegung den Finger, so erhält man einen Funken, indem die positive Electricität der innern nicht vollständig durch die negative der äußern gebunden ist und deshalb den frei gebliebenen Theil an den berührenden Finger abgiebt. Die hierdurch verminderte positive Electricität der innern Belegung vermag nun ihrerseits die negative der äußern nicht mehr vollständig zu binden, und man erhält daher bei Berührung der äußern Belegung mit dem Finger einen zweiten Funken mit negativer Electricität, wodurch wieder ein Theil positiver Electricität in der innern Belegung frei wird, nach dessen Entfernung durch Berührung mit dem Finger wieder in der äußern Belegung ein Theil negativer Electricität frei wird u. s. w. Auf diese Art kann man der innern und äußern Belegung einer kräftig geladenen Flasche abwechselnd hundert und mehr allmählig schwächer werdende positive und negative Funken entziehen, ein Versuch, welcher sehr deutlich die große Menge der in beiden Belegungen angehäuften entgegengesetzten Electricitäten zeigt.

Um die Stärke der Ladung einer Flasche oder Batterie zu bestimmen, dient die von dem Engländer Lane ums Jahr 1770 erfundene Maaßflasche, Fig. 129. Dieselbe besteht im Wesentlichen aus einer gewöhnlichen electrischen Flasche, mit welcher auf dem nehmlichen Fußgestell die hölzerne Säule a fest verbunden ist. Diese trägt oben die vermittelst einer Schraube mehr oder weniger anzuziehende Klemme b, durch welche der in einen Knopf endigende Drath c hindurch geht. Bei dem Gebrauch der Flasche wird der Knopf des Drathes c, welcher durch einen Drath f mit der äußern Belegung in Verbindung steht, der Kugel d bis auf einen kleinen Abstand (etwa 1‴) genähert, die äußere Belegung der Maaßflasche mit dem Erdboden, die innere aber mit der äußern Belegung der zu ladenden und auf eine isolirende Unterlage gestellten Batterie oder Flasche in leitende Verbindung gebracht. Wird nun die innere Belegung dieser Batterie mit dem Conductor verbunden und die Maschine in Bewegung gesetzt, so entflieht die abgestoßene Electricität der äußern Belegung in die innere Belegung der Maaßflasche und ladet dieselbe. Der geringe Abstand aber zwischen den Knöpfen c und d veranlaßt, daß bei fortgesetzter Umdrehung der Maschine sich die Maaßflasche von selbst in wiederholten Funken entladet. Die Zahl dieser Funken ist bei ungeändertem Abstande der Knöpfe c und d der Menge der in der geladenen Batterie angehäuften Electricitäten proportional.

(Fig. 129.)



Durch die Maaßflasche wird man in den Stand gesetzt, der nehmlichen Flasche oder Batterie für wiederholte Versuche jedesmal eine gleiche Ladung zu ertheilen, so wie auch die bei ungleichen Ladungen angewandten Electricitätsmengen abzumessen. Eben so kann die Maaßflasche dazu dienen, die Leistungen zweier Electrisirmaschinen oder der nehmlichen Maschine zu verschiedenen Zeiten mit einander zu vergleichen. Man verbindet zu diesem Zwecke die innere Belegung der Maaßflasche mit dem Conductor, die äußere mit dem Reibzeuge und zählt die Entladungsfunken, welche sich während einer bestimmten Anzahl von Umdrehungen der Maschine zeigen.

Rieß hat mit Hülfe der Maaßflasche gefunden, daß die Schlagweite einer Flasche oder Batterie der Spannung (Dichte) der in der innern Belegung angehäuften Electricität proportional, dagegen von der Beschaffenheit des Schließungsbogens, durch welchen die Entladung erfolgt, ob dieser aus einem mehr oder weniger guten Leiter besteht, unabhängig ist, voraus-

gesetzt jedoch, daß die Stelle der innern Belegung, an welcher die Entladung erfolgt, dieselbe bleibt, und daß auch die Gestalt derjenigen Stellen des Schließungsbogens, zwischen denen die Entladung stattfindet, sich nicht ändern.

Haben diese z. B. die Form von Kugeln, und nähert man diese beiden Kugeln einander allmählig, bis eine Entladung erfolgt, so tritt bei fortgesetzter Annäherung eine zweite, aber unvergleichlich schwächere Entladung und auch wohl bei noch stärkerer Annäherung eine dritte Entladung ein. — Es geht hieraus zugleich hervor, daß die vollständige Entladung einer Batterie oder Flasche nicht auf einmal erfolgt, sondern aus mehreren discontinuirlichen Entladungen zusammengesetzt ist.

Bewirkt man die Entladung einer Flasche oder Batterie auf die Art, daß man zwischen beiden Belegungen eine vollständige leitende Verbindung herstellt, indem man z. B. die Enden des Ausladers den beiden Belegungen bis zur Berührung nähert, und hebt diese Verbindung nach erfolgter Entladung sofort wieder auf, so erhält man, wenn man nach einiger Zeit die Verbindung wieder herstellt, noch eine zweite, aber bei Weitem schwächere und dann weiter, wenn man eben so aufs Neue verfährt, auch wohl noch eine dritte und vierte, aber immer schwächer werdende Entladung. Man nennt diese nach vorangegangener Entladung noch zurückbleibenden Ladungen das electrische Residuum. Dasselbe dürfte seine Erklärung darin finden, daß z. B. bei einer positiv geladenen Flasche die positive Electricität der innern und die negative Electricität der äußern Belegung zugleich vertheilend auf die Electricitäten des beide Belegungen trennenden Glases einwirken, wodurch an der innern Seite des Glases negative, an der äußern positive Electricität angehäuft wird. Indem nun diese entgegengesetzten Electricitäten der beiden Seiten des Glases anziehend auf die ungleichnamigen Electricitäten der mit den beiden Seiten des Glases in Berührung stehenden Belegungen einwirken, wird ein Theil derselben festgehalten und der Entladung entzogen. Indem aber nach erfolgter Entladung das electrische Gleichgewicht sich in dem Glase und zwar, weil dasselbe ein schlechter Leiter ist, allmählig wieder herstellt, werden auch die in der angegebenen Art gebundenen und festgehaltenen Electricitäten der beiden Belegungen allmählig frei und liefern eine zweite, aber schwächere Entladung, auf welche dann bei Wiederholung des nehmlichen Verfahrens und aus analogen Gründen noch eine dritte Entladung u. s. w. folgen kann.

Wie schon oben in §. 124 angeführt worden ist, wird ein dünner in dem Schließungsbogen einer Batterie eingeschalteter Drath bei der Entladung erwärmt. Rieß hat gezeigt, daß diese Erwärmung unter übrigens gleichen Umständen der Menge und der mittlern Dichtigkeit der Electricität in der Batterie proportional ist. Sie hängt aber außerdem von der Beschaffenheit des Schließungsbogens, ob dieser aus mehr oder weniger guten Leitern besteht, ab. — Rieß hat dieses mit Hülfe des von ihm erfundenen electrischen Thermometers gezeigt, bei welchem ein dünner Drath in eine hohle Glaskugel eingeschlossen ist, mit welcher eine mit irgend einer Flüssigkeit gefüllte Röhre verbunden ist. Die in dem Drathe durch den Entladungsschlag einer Batterie hervorgebrachte Erwärmung theilt sich der den Drath in der Kugel umgebenden Luft mit und dehnt dieselbe aus, wodurch die Flüssigkeit in der Röhre fortbewegt wird, neben welcher, um die Größe der Ausdehnung der Luft abzumessen, eine Scale angebracht ist.

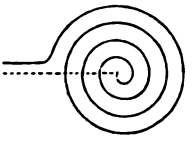
Endlich führen wir noch die folgenden ebenfalls von Rieß genauer untersuchten Erscheinungen an: Wenn man von dem Schließungsbogen einer Batterie einen längeren, in eine Kugel endenden Drath abzweigt und diesen einen länglichen Leiter gegenüber hält, so erscheint zwischen denselben bei der Entladung der Batterie ein kleiner Funken. Diese Seitenentladung hat nach Rieß ihren Grund in der nicht gebundenen, freien Electricität der innern Belegung, welche, indem sie in den Schließungsbogen und die mit demselben verbundenen Leiter einströmt, durch Influenz auf in der Nähe derselben befindliche Leiter einwirkt.

§. 130. Der electrische Nebenstrom.

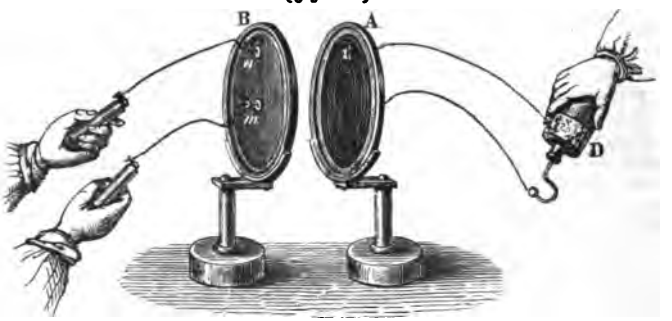
So wie nach §. 127 jeder electrisirte Körper vertheilend auf seine Umgebung wirkt, die ungleichnamige Electricität in derselben anzieht, die gleichnamige abstößt, so ruft auch der Entladungsstrom einer electrischen Flasche, überhaupt jeder kräftige electrische Strom in einem benachbarten Leiter einen electrischen Strom hervor. Man nennt diesen Strom den inducirten oder Nebenstrom, denjenigen aber, durch welchen derselbe erzeugt wird, den inducirenden oder Hauptstrom.

Um die Erscheinungen des Nebenstromes zu beobachten, wendet man am bequemsten zwei ganz gleiche in der Art, wie Fig. 130 zeigt, spiralförmig gewundene, auf Holzscheiben befestigte Drähte an, welche man so übereinander legt, daß sie durch eine dünne Glasplatte von einander getrennt sind und ihre Windungen möglichst genau über einander zu liegen kommen. Oder man versieht die Holzscheiben, auf denen die Drahtspiralen befestigt sind, mit Füßen, so daß dieselben in aufrechter Stellung einander beliebig genähert und von einander entfernt werden können. Die Enden der einen Drahtspirale B, Fig. 131, welche wir die Nebenspirale

(Fig. 130.)



(Fig. 131.)



nennen wollen, treten bei m und n an die entgegengesetzte Seite der Holzscheibe und sind mit zwei metallenen Griffen verbunden. Wenn man nun diese mit den Händen anfaßt und durch die andere Spirale A, welche die Hauptspirale heißen mag, den Entladungsschlag einer electrischen Flasche leitet, so empfindet man im Moment der Entladung eine Erschütterung. Werden die Enden der Nebenspirale einander bis auf einen kleinen Abstand genähert, so sieht man zwischen denselben in dem Augenblicke, in welchem durch die Hauptspirale eine Flasche entladen wird, einen kleinen Funken überspringen.

Wenn man das eine Ende der Hauptspirale mit dem Reibzeuge einer Electrisirmaschine verbindet und das andere in einen Knopf auslaufende Ende in die Schlagweite des Conductors bringt, so erscheint jedesmal, wenn zwischen dem Knopf und dem Conductor ein Funken überspringt, auch zwischen den einander bis auf einen geringen Abstand genäherten Enden der Nebenspirale ein kleiner Funken.

Der Nebenstrom zeigt überhaupt, wenn auch in schwächerem Maaße, alle Wirkungen des Hauptstromes; seine Stärke wächst in gleichem Verhältnisse mit der Stärke des Hauptstromes und mit der Länge des Weges, welchen beide parallel neben einander durchlaufen; sie nimmt mit der Entfernung vom Hauptstrome ab. Der Nebenstrom wird durch schlechte Leiter, welche sich zwischen demselben und dem Hauptstrome befinden, nicht geschwächt, wohl aber durch gute Leiter, z. B. eine Metallplatte oder einen geschlossenen Draht, in denen der Hauptstrom inducirte Ströme hervorruft.

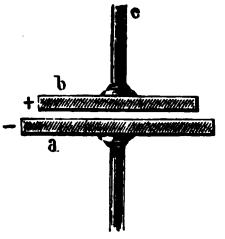
§. 131. Das Goldblattelectrometer und der Condensator.

Um die Electricität eines Körpers zu prüfen oder nachzuweisen, hat man besondere Vorrichtungen, welche man gewöhnlich Electrometer nennt, aber richtiger Electroscope nennen sollte. Eins der empfindlichsten und einfachsten ist das Goldblattelectrometer (Fig. 132), welches von Bennet (1787) angegeben worden ist. Dasselbe besteht aus zwei feinen Streifen Goldblatt aa, welche — zur Abhaltung des Luftzuges innerhalb eines Glases — an ein metallnes Stäbchen angehängt sind, welches sich oben in eine außerhalb des Glases befindliche Kugel b (oder in eine Platte) endigt. Um nun die Electricität eines Körpers zu prüfen, theilt man dem Knopfe b irgend eine bestimmte, aber schwache Electricität mit, wodurch die Blättchen aa etwas auseinander gehen*), und nähert dann erst den zu prüfenden Körper. Wird nun die Divergenz der Goldblättchen stärker oder schwächer, so hat der genäherte Körper im ersten Falle dieselbe, im letzten die entgegengesetzte Electricität von derjenigen, welche man den Blättchen vorher mitgetheilt hatte.

(Fig. 132.)

Zur Prüfung sehr schwacher Electricitäten dient der Condensator (Fig. 133). Dieser besteht aus zwei sorgfältig abgeschliffenen, genau auf einander passenden Metallplatten, welche an einer Seite mit einer dünnen, die metallische Berührung hindernden Firnißschicht überzogen sind. Die untere Platte a heißt Condensatorplatte und steht mit der Erde in leitender Verbindung, die obere Platte b ist mit einem isolirenden Handgriffe c versehen und wird Collectorplatte genannt.

(Fig. 133.)



Berührt man die auf die Condensatorplatte aufgesetzte und von derselben durch die isolirende Firnißschicht getrennte Collectorplatte b mit einem schwach, z. B. positiv electrisirten Körper, so zieht die derselben mitgetheilte positive Electricität in der Condensatorplatte a negative Electricität an, welche umgekehrt auch auf die positive Electricität der Collectorplatte b anziehend und bindend wirkt, weshalb aus dem berührenden Körper weit mehr positive Electricität in die Collectorplatte übergeht, als ohnedieß der Fall sein würde, so daß also hier ganz dieselbe Wechselwirkung eintritt, welche wir früher bei der electrischen Flasche in Hinsicht der entgegengesetzten Electricitäten der beiden Belegungen kennen gelernt haben.

---

*) Man macht dieses am zweckmäßigsten so, daß man dem Knopfe, welchen man mit dem Finger berührt hat, irgend einen electrisirten Körper nähert, wobei natürlich die gleichnamige Electricität durch den Finger abgeleitet wird, dann zuerst diesen und später den electrisirten Körper entfernt, worauf die Blättchen mit der entgegengesetzten Electricität aus einander gehen.

Hebt man nun die Collectorplatte b auf, so wird die derselben mitgetheilte Electricität frei und läßt sich an einem empfindlichen Goldblattelectrometer auf die vorher angegebene Art prüfen.

Oder man kann auch die eine Condensatorplatte a unmittelbar auf das Goldblattelectrometer statt des Knopfes aufschrauben, auf dieselbe die andere Platte b aufsetzen und mit ersterer den zu prüfenden Körper in Berührung bringen, während man die obere Platte b ableitend mit dem Finger berührt. Hebt man hierauf diese Platte ab, so wird die bis dahin in der unteren durch die entgegengesetzte der oberen Platte gebundene Electricität frei und bewirkt ein Auseinandergehen der beiden Goldblättchen.

Der Condensator ist 1782 von Volta erfunden worden.

Wenn man durch das Goldblattelectroscop sehr schwache Electricitäten, wie z. B. bei Anstellung des Volta'schen Fundamentalversuchs (S. unten §. 140 u. 141) nachweisen will, so hat man für möglichst vollkommene Isolirung, indem man das Instrument erwärmt und innerhalb ein Schälchen mit etwas Chlorcalcium anbringt, Sorge zu tragen.

§. 132. Mittel der Electricitätserregung.

Das seit den ältesten Zeiten bekannte und am häufigsten angewendete Mittel der Electricitätserregung ist die Reibung. So wie zwei Körper, welche in irgend einer Hinsicht verschieden sind, an einander gerieben werden, so wird allemal Electricität entbunden. Wenn man z. B. zwei weiße seidene Bänder so aneinander reibt, daß sie sich kreuzen, so wird das der Länge nach geriebene Band positiv, das in der Quere geriebene negativ electrisch.

Ueberhaupt gilt das Gesetz, daß von zwei an einander geriebenen Körpern allemal der eine positive, der andere negative Electricität erhält. Welcher aber von den beiden geriebenen Körpern positiv und welcher negativ electrisch wird, darüber läßt sich in Hinsicht der schlechten Leiter kaum eine Regel aufstellen, da eine geringe Verschiedenheit in der Oberfläche schon einen bedeutenden Unterschied hervorrufen kann; so zeigen z. B. polirtes Glas und mattgeschliffenes Glas ein ganz verschiedenes Verhalten.

Werden von den folgenden Körpern: Katzenfell, polirtes Glas, Wolle, Seide, Harz, mattgeschliffenes Glas, irgend zwei aneinander gerieben, so erhält der vorhergehende positive, der nachfolgende negative Electricität. So wird z. B., wenn man polirtes Glas und Wolle mit einander reibt, das Glas positiv und die Wolle negativ, und wenn man Wolle und Harz zusammenreibt, die Wolle positiv und das Harz negativ.

Bei guten Leitern, z. B. Metallen, reicht zur Electricitätserregung schon die bloße Berührung hin, indem die erregte Electricität sich über die ganze Oberfläche der guten Leiter verbreitet; allein es ist klar, daß auf diese Art nur schwache Electricitäten hervorgerufen werden können, indem die sich berührenden Metalle der Wiedervereinigung der sich anziehenden entgegengesetzten Electricitäten nur einen geringen Widerstand entgegenstellen. Bei zwei schlechten Leitern würde die bloße Berührung nur an den wenigen sich unmittelbar berührenden Punkten Electricität hervorrufen; die Reibung ist das zweckmäßigste Mittel, die Wirkung zu verstärken, indem durch dieselbe möglichst viele Punkte beider Körper mit einander in Berührung gebracht werden. Die kräftigste Electricitätsentwickelung findet statt, wenn, wie bei der Electrisirmaschine, ein schlechter Leiter, der Reiber, und ein guter Leiter, das mit Amalgam bestrichene Kissen, an einander gerieben werden.

Für schlechte Leiter ist auch der Druck ein wirksames Mittel der Electricitätserregung, indem derselbe ebenfalls, wenn auch nicht in dem Maaße wie die Reibung, die Zahl der Berührungspunkte vermehrt. Werden zwei irgend verschiedene Körper an einander gedrückt, so zeigt nach der Trennung der eine freie positive, der andere negative Electricität.

Auch durch Spaltung und Stoß wird Electricität hervorgerufen. Hierher dürfte der Lichtschein gehören, welchen man wahrnimmt, wenn man im Dunkeln Zucker, Kreide u. dgl. zerschlägt oder zerstößt.

Durch welche Mittel aber auch Electricität hervorgerufen werden mag, in allen Fällen treten beide Electricitäten zugleich auf; niemals ist es möglich, die eine allein zu erregen. — Es stimmt also auch hierin die Electricität mit dem Magnetismus überein, jedoch mit dem Unterschiede, daß beide Magnetismen allemal an denselben Körper gebunden sind, während dagegen die entgegengesetzten Electricitäten, wenn sie einmal erregt sind, sich von einander trennen lassen.

Wir haben oben angenommen, daß auch in einem unelectrischen Körper beide Electricitäten und zwar im Gleichgewichte vorhanden sind, und wir haben ferner gesehen, daß der electrische Funken durch die Vereinigung der entgegengesetzten Electricitäten hervorgerufen wird. Da nun, wenn zwei Körper im Dunkeln aneinander gerieben werden, electrisches Licht erscheint, so werden wir uns vielleicht vorstellen dürfen, daß hierbei der eine negative, der andere positive Electricität abgiebt, welche sich mit einander vereinigen, und neutralisiren, wodurch dann im ersteren positive, im anderen Körper negative Electricität frei wird.

Wenn man einen halben Bogen Briefpapier am Ofen erwärmt, dann auf einer Tischplatte ausbreitet und mit einem Stücke Gummi elasticum reibt, so haftet derselbe an der Tischplatte und giebt nach dem mit Knistern begleiteten Losreißen dem genäherten Finger lebhafte Funken. — Auch in Papierfabriken zeigt sich das Papier nach dem Pressen stark electrisch.

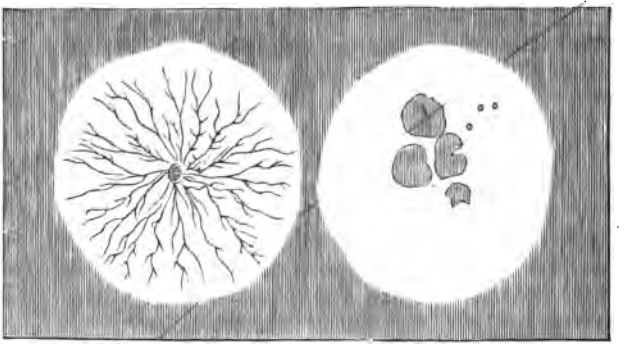
Mehrere Krystalle, ins Besondere der Turmalin, können durch Erwärmen electrisch werden. Erwärmt man einen solchen Krystall, so wird die eine Hälfte positiv, die andere negativ electrisch; erhält man denselben einige Zeit auf derselben Temperatur, so verschwinden diese Electricitäten wieder; läßt man den Krystall sich abkühlen, so werden wieder beide Hälften electrisch, aber sie zeigen jetzt die entgegengesetzten Electricitäten von denen, welche sie beim Erwärmen hatten. Zerbricht man einen Turmalin, während er electrisch ist, so zeigt jedes Stück, in ähnlicher Art, wie ein zerbrochener Magnet, eine positive und eine negative Hälfte.

§. 133. Electrische Figuren.

In den meisten Fällen werden durch die positive und die negative Electricität ganz gleiche Wirkungen hervorgebracht. Man kennt jedoch auch einige Erscheinungen, bei denen sich ein verschiedenes Verhalten beider Electricitäten offenbart; dieß ist z. B. der Fall, wie wir schon oben (§. 122) gesehen haben, bei dem Ausströmen derselben aus Spitzen. Ein anderer Versuch, durch welchen sich eine sehr anschauliche Verschiedenheit der positiven und negativen Electricität ergiebt, besteht in Folgendem: Wenn man einige Stellen eines Harzkuchens positiv, andere negativ electrisirt, indem man denselben an einigen Stellen mit dem Knopfe einer positiv geladenen, an anderen mit dem Knopfe einer negativ geladenen Flasche berührt, und dann den Harzkuchen aus einiger Entfernung mit einem feinen Pulver, z. B. Hexenmehl (semen lycopodii) überpudert, so entstehen an den positiv

electrisirten Stellen strahlige, an den negativ electrisirten rundliche Figuren, wie Fig. 134 zeigt.

(Fig. 134.)



Diese Figuren sind zuerst von Lichtenberg 1777 dargestellt worden und werden daher auch Lichtenbergische Figuren genannt. Bei gleicher Stärke der Ladung hat die positive Figur einen größeren Umfang als die negative.

Ein anderes Beispiel des verschiedenen Verhaltens der entgegengesetzten Electricitäten bietet der Lullin'sche Versuch dar: Wenn nehmlich bei der Durchbohrung eines Kartenblattes durch den Entladungsschlag einer electrischen Flasche die metallenen Spitzen des Ausladers einander nicht gegenüber stehen, sondern das Kartenblatt an den entgegengesetzten Seiten in zwei Punkten berühren, welche etwa einen Zoll von einander abstehen, so geht der electrische Funken allemal über die der positiven Spitze zugewendete Seite und durchbohrt das Kartenblatt an der Stelle, welche sich der negativen Spitze gegenüber befindet.

Bei dem in der Anm. zu §. 122 beschriebenen Versuche über die Färbung von Jodkaliumkleister wird nur durch positive, nicht aber durch negative Electricität die angegebene Wirkung hervorgebracht.

*§. 134. Luftelectricität.

Zur Ermittelung des electrischen Zustandes der oberen Luftschichten kann man sich entweder des schon oben erwähnten, von Franklin gebrauchten electrischen Drachens bedienen; oder man befestigt an einem Gebäude eine hölzerne Stange, welche an ihrem oberen Ende eine oder mehrere durch einen Glasstab gehörig isolirte metallne Saugspitzen trägt, von denen ein Metalldraht durch die Luft nach einem empfindlichen Electroscope herabführt.

Uebrigens leuchtet ein, daß man durch dergleichen Vorrichtungen eigentlich nur die electrische Differenz zwischen dem Zustande der oberen Luftschicht, in welcher sich die metallne Spitze, und der unteren Luftschicht, in welcher sich das Electroscop befindet, erfahren kann, und daß man gerade das umgekehrte Resultat erhalten müßte, wenn man die metallne Spitze in die untere, das Electroscop in die obere Luftschicht brächte*).

Die Ergebnisse der von verschiedenen Physikern angestellten Beobachtungen über die Luftelectricität sind im Wesentlichen folgende:

1) Die Electricität der Atmosphäre ist bei heiterem Himmel allemal positiv, am stärksten bei windstiller Witterung.

2) Die Luftelectricität zeigt sich schwächer bei bewölktem Himmel, am schwächsten bei trüber, feuchter Witterung, indem die feuchte Luft die Elec-

*) Wie dieß auch Biot's Beobachtungen auf seiner mit Gay-Lüssac unternommenen Luftreise an einem aus der Gondel herabhängenden Metalldrahte von mehr als 150 Fuß Länge bestätigt haben.

tricität der Atmosphäre nach dem Erdboden ableitet. Ebenso wird dieselbe durch starke Winde, welche die obern und untern Luftschichten durch einander mischen, geschwächt.

3) Während eines Gewitters zeigt das Luftelectrometer einen äußerst unregelmäßigen Gang und häufige Wechsel von positiver und negativer Electricität.

4) Auch vorüberziehende Wolken bringen oft einen Wechsel in der positiven oder negativen Beschaffenheit der Luftelectricität hervor.

5) Die Luftelectricität zeigt sich im Allgemeinen im Winter und bei niedriger Temperatur stärker, als im Sommer und bei höherer Temperatur, wahrscheinlich weil im letzteren Falle die Luftströmungen, welche in Folge der Erwärmung des Erdbodens durch die Sonnenstrahlen eintreten, mit größerer Lebhaftigkeit stattfinden und daher die electrischen Gegensätze der oberen und unteren Schichten rascher ausgleichen.

6) Die Luftelectricität nimmt mit der Höhe oder vielmehr mit dem Höhenunterschiede zwischen dem obersten und untersten Punkte des Zuleitungsdrahtes zu.

7) Nebel und Wolken sind in der Regel electrisch, am häufigsten positiv.

8) Eben so sind Niederschläge aus der Atmosphäre, Regen und Schnee, besonders Hagel, fast immer electrisch, die Electricität derselben ist zuweilen so stark, daß die Regentropfen oder Hagelkörner, indem sie den Boden berühren, leuchten. Die Electricität der Niederschläge ist bald positiv, bald negativ; zuweilen wechseln selbst bei dem nehmlichen Regen positive und negative Electricität mit einander ab.

Durch welche Processe die Electricität der Luft hervorgerufen wird, hat bis jetzt mit Bestimmtheit noch nicht ermittelt werden können. Früher hat man ziemlich allgemein die Verdunstung als die Hauptquelle der Luftelectricität angesehen; neuere Untersuchungen haben jedoch die Richtigkeit dieser Ansicht wenigstens nicht bestätigt.

Statt der oben angegebenen älteren Apparate mit Saugspitzen zur Ermittelung der Luftelectricität wendet man in neuerer Zeit auch häufig eine metallne Kugel an, welche man vermittelst eines isolirenden Glasstabes an dem oberen Ende einer aufgerichteten hölzernen Stange befestigt hat. Nachdem man diese Kugel auf eine kurze Zeit mit dem Erdboden in leitende Verbindung gebracht hat, wodurch sich dieselbe in Folge von Influenz mit der entgegengesetzten Electricität der Luftschicht, in welche die Kugel hineinragt, ladet, nimmt man dieselbe herab und untersucht ihre Electricität.

*§. 135. Entstehung des Gewitters.

Die großartigste durch die Luftelectricität bewirkte Erscheinung ist das durch Blitz und Donner charakterisirte Gewitter, von welchem wir schon oben in §. 125 nachgewiesen haben, daß dasselbe zu den electrischen Erscheinungen gehört.

Die mittlere Durchschnittszahl der an dem nehmlichen Orte in Deutschland während eines Jahres stattfindenden Gewitter ist ohngefähr 18. Gewitter finden bei weitem häufiger im Sommer, als im Winter statt; der gewitterreichste Monat ist im Allgemeinen der Juli. Wintergewitter gehören, wenn auch nicht zu den außerordentlichen, doch zu den seltenen Erscheinungen. Dieses Verhältniß gilt auch für die meisten der übrigen Länder Europa's; doch sind die Wintergewitter an den westlichen Küsten und in den westlich gelegenen Ländern Europa's weniger selten, als im Osten Europa's; ja an

der Westküste von Norwegen übertrifft die Zahl der Wintergewitter die der Sommergewitter. So kommen z. B. in Bergen durchschnittlich auf zwei Jahre 12 Gewitter und hiervon etwa 7 auf den Winter und 5 auf den Sommer. Wir müssen hierzu noch bemerken, daß daselbst auch die Regenmenge des Winters die des Sommers übertrifft. — In Stockholm dagegen und in den mehr nach Osten gelegenen Gegenden fehlen die Wintergewitter fast gänzlich.

Die Gewitter sind am häufigsten und heftigsten in der heißen Zone, wo sie insbesondere zur Regenzeit fast regelmäßig alle Tage stattfinden. Mit der Breite oder vielmehr mit der mittleren Temperatur eines Ortes nimmt im Allgemeinen auch die Häufigkeit der Gewitter ab. In der Nähe der Polarkreise oder innerhalb derselben gehören sie zu den seltenen Erscheinungen*).

Dem Gewitter geht eine mehr oder weniger rasche Wolkenbildung voran. Diese nimmt an irgend einer Stelle des Himmels ihren Anfang, und indem sie von hier aus rasch fortschreitet, wird häufig binnen kurzer Zeit der vorher völlig heitere Himmel ganz mit Wolken bedeckt. Indem so die in der Luft enthaltenen durchsichtigen Dämpfe sich zu Wolken verdichten, häuft sich zugleich in diesen Electricität in um so größerer Menge an, je reichlicher und rascher die Condensation der Dämpfe erfolgt. So wie dann einerseits die in den Gewitterwolken angehäuften wässerigen Theile in Regengüssen niederstürzen, so entladet sich andererseits die in großer Menge angesammelte Electricität in feurigen Blitzen.

Wenn auch die Ursache der Luftelectricität gegenwärtig noch nicht mit Sicherheit ermittelt ist, so ist doch die Verdichtung der in der Luft enthaltenen Dämpfe, wo nicht als Quelle, doch jedenfalls als Bedingung der Anhäufung der Luftelectricität und der Entstehung des Gewitters anzusehen.

Für die Richtigkeit dieser Ansicht spricht zunächst die Erfahrung, daß ohne vorangegangene Wolkenbildung, am völlig heiteren Himmel, niemals ein Gewitter entsteht, ferner daß Nebel und Wolken, besonders aber die Niederschläge aus denselben sich fast immer electrisch zeigen, und daß sehr dichte Niederschläge von Regen, Schnee oder Hagel gewöhnlich von Blitzschlägen begleitet sind.

Man bemerkt häufig, daß nach lebhaften Blitzen die Heftigkeit des Regens unmittelbar zunimmt. Da indeß die Lichterscheinung des Blitzes sich augenblicklich fortpflanzt, während die Regentropfen zu ihrem Niederfallen aus der Wolke zur Erde eine längere Zeit gebrauchen, so werden wir den Blitz nicht als die Ursache, sondern vielmehr als die Folge des vermehrten Niederschlages und der gleichzeitig in großer Menge entbundenen Electricität, welche durch den Blitz sich entladet, anzusehen haben. Indem aber die Wolke ihre Electricität in wiederholten Blitzen entladet, auch der Regen einen natürlichen Ableiter nach der Erde hin bildet, nimmt die electrische Spannung in der Gewitterwolke immer mehr ab, die Blitze hören endlich auf und das Gewitter hat sein Ende erreicht.

*) Giseckе beobachtete während eines sechsjährigen Aufenthaltes in Grönland unter 70° nördlicher Breite nur ein einziges Gewitter. — Auf Spitzbergen und überhaupt jenseits des 73sten Breitengrades sollen keine Gewitter mehr vorkommen.

Nach der oben über die Entstehung des Gewitters ausgesprochenen Ansicht erklärt sich auch die größere Häufigkeit derselben im Sommer einfach dadurch, daß die Luft bei hoher Temperatur eine sehr große Menge von Dämpfen zu fassen vermag, und daß dann eine geringe Temperaturerniedrigung schon einen reichlichen Niederschlag hervorbringt.

Gewöhnlich geht der Entstehung der Gewitter im Sommer große Wärme bei heiterem Himmel und fast immer Windstille vorher, welche die Hitze für unser Gefühl noch drückender macht, was wir mit dem Worte Schwüle bezeichnen. Heftige Winde verhindern, indem sie die oberen und unteren Luftschichten durch einander mischen, in der Regel die Ansammlung der Electricität in den oberen Regionen und die Erzeugung von Gewittern. — Dem Ausbruche des Gewitters selbst pflegt jedoch heftiger Sturmwind voranzugehen, welcher Staub und andere leichte Körper emportreibt.

„Wenn bei den meisten Gewittern im Sommer Windstille ein wesentliches Erforderniß ist, so ist dieses bei den Wintergewittern weit weniger der Fall. Da die Atmosphäre im Winter weniger Dämpfe enthält, als im Sommer, so ist eine hinreichend schnelle Condensation nur zur Zeit lebhafter Stürme möglich. Wenn südwestliche Winde längere Zeit geweht, Temperatur und Dampfgehalt der Atmosphäre sich erhoben haben und nun schnell starke Nordwinde kommen, so bildet sich häufig ein Gewitter. — Daher zeigen sich die Gewitter im Winter auch nur da, wo die Luft sehr feucht ist, also an Küsten, und zwar desto häufiger, je steiler diese Küsten sind. Aus diesem Grunde eignet sich Norwegen vorzüglich zur Entstehung von Wintergewittern." — (Kämtz.)

Die Höhe der Gewitterwolken dürfte sehr verschieden sein, zuweilen 1000 Fuß nicht übersteigen; andererseits sollen nach Humboldt Gewitter in 12000 Fuß Höhe zwischen den Wendekreisen in Amerika zu den seltenern Erscheinungen gehören. Man schätzt die mittlere Höhe der Gewitterwolke auf 5000 bis 6000 Fuß*).

Die meisten Gewitter bewegen sich in Deutschland von Westen oder Südwesten gegen Osten oder Nordosten, so wie ja auch die westlichen oder südwestlichen Winde die vorherrschenden Regenwinde sind. Daß die Gewitter allemal gegen den Wind ziehen, ist eine irrige oder übertriebene Behauptung. Aber richtig ist es, daß die Luftströmungen in verschiedenen Höhen häufig und besonders bei Gewittern eine verschiedene Richtung haben, und daß der Zug der Gewitterwolken nicht immer mit der Richtung des Windes an der Erdoberfläche übereinstimmt.

*) Lehnen sich Gewitterwolken an die Gipfel oder Seitenwände von Bergen, deren Höhe man kennt, so gewährt diese einen Anhaltspunkt für die Abschätzung der Höhe der Gewitterwolken. In ebenen Gegenden kann man folgendes Verfahren anwenden: Man schätzt die Entfernung (a) des Gewitters nach der Zeit, welche zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und Donners vergeht, und nach der bekannten Geschwindigkeit des Schalles (1080 Fuß in der Secunde) und sucht den Winkel (α) zu bestimmen, welchen die Linie vom Auge nach dem Punkte in den Wolken, von dem der Blitz ausging, mit dem Horizonte bildet. Dann ist die Höhe der Gewitterwolke die Cathete eines rechtwinkligen Dreiecks, von welchem man die Hypotenuse (a) und einen Winkel (α) kennt, (also $= a \sin \alpha$). Dieses Verfahren kann jedoch keine genauen Resultate liefern, da die Bestimmung des Winkels (α) mit großer Schwierigkeit verbunden ist, und die Entfernung (a) der Gewitterwolke zu klein erhalten wird, wenn irgend ein anderer Punkt der Bahn des Blitzes dem Beobachter näher ist, als die Stelle in den Wolken, von welcher der Blitz ausging.

§. 136. Der Blitz und der Donner.

Die Bahn des Blitzes in der Luft ist seltener eine gerade Linie, gewöhnlich eine Zickzacklinie. In der Nähe gesehen erscheint der Blitz als ein feuriger Ballen. Das wiederholte Abgehen des Blitzes von der geraden Linie sucht man dadurch zu erklären, daß der Blitz die Luft, welche er vor sich her treibt, verdichtet und so zu einem schlechteren Leiter macht und deshalb nach der nicht verdichteten, dünneren Luft abspringt. — Nicht selten beobachtet man Blitze, deren Länge mehr als eine Meile beträgt.

Der Donner ist offenbar dasselbe im Großen, was der den electrischen Funken unserer Maschinen oder Flaschen begleitende Knall im Kleinen ist. Bei Blitzen, welche einschlagen, wird der Donner von den in der Nähe befindlichen Personen als ein einfacher Knall ohne nachfolgendes Rollen, von entfernteren Personen als ein prasselnder Knall vernommen. Bei Blitzen, welche von einer Wolke zur andern überschlagen, ist der Donner rollend. Das Rollen des Donners wird theils durch Zurückwerfen des Schalles in den Wolken oder an Gegenständen auf der Erde hervorgebracht, weshalb dasselbe auch in Gebirgen stärker, als in der Ebene vernommen wird; theils entsteht dasselbe dadurch, daß der Schall, welchen der Blitz an verschiedenen Stellen seiner Bahn in der Luft erregt, wegen der ungleichen Entfernung dieser Stellen vom Ohre des Beobachters zu verschiedener Zeit bei demselben anlangt. Auch dürfte die Bewegung des Blitzes im Zickzack von Einfluß auf das Eigenthümliche des Donners sein*).

Bei weitem die meisten Blitze schlagen von einer Wolke zur andern über; die wenigsten gehen nach der Erde oder, wie man sagt, schlagen ein. — Ueber die einschlagenden Blitze stellen wir folgende allgemeine Sätze auf:

1) Der einschlagende Blitz ist die Ausgleichung des electrischen Gegensatzes zwischen der Gewitterwolke und der durch Vertheilung electrisirten Oberfläche der Erde, welche sich unter der Gewitterwolke befindet. — Hiernach beantwortet sich die Frage von selbst, ob der Blitz von der Wolke zur Erde oder von der Erde zur Wolke geht. Unmittelbare Beobachtungen können hierüber nichts entscheiden, wegen der ungeheuren Geschwindigkeit, mit welcher der Blitz seine Bahn durchläuft.

2) Als das Ziel des Blitzes (als der eine Endpunkt seiner Bahn) ist die feuchte Erde oder das Wasser anzusehen. Nachdem der Blitz diese erreicht hat, hören alle Wirkungen desselben auf; der Blitz, welcher oft kurz vorher noch die größten Verheerungen anrichtete, ist spurlos an der feuchten Oberfläche der Erde verschwunden.

3) Ob der Blitz an einer Stelle der Erdoberfläche einschlägt, über welcher die Gewitterwolke schwebt, hängt vorzüglich von der Stärke der electrischen Ladung der Wolke, von der Höhe, in welcher sie schwebt, und von der Feuchtigkeit, überhaupt von dem Leitungsvermögen der Luft ab und wird weniger durch die Beschaffenheit der Gegenstände auf der Erdoberfläche bedingt.

*) Es ist sehr merkwürdig, daß auch der heftigste Donner nur auf eine Entfernung von 2 bis 3 Meilen noch vernommen wird, während man Beispiele kennt, daß der Knall der Geschütze in Entfernungen von 30 und mehr Meilen gehört worden ist. — 72 Secunden sind die größte von de l'Isle beobachtete Zwischenzeit zwischen dem Blitze und dem zugehörigen Donner.

4) Da selbst die feuchte Luft nur ein schlechter Leiter ist, so sucht sich der Blitz den Sprung durch die Luft möglichst zu verkürzen; er trifft daher vorzugsweise die höchsten, (als die der Gewitterwolke nächsten) Gegenstände. Ein minder hoher Gegenstand kann einer schief stehenden Gewitterwolke näher sein, als ein höherer; auch kann das verschiedene Leitungsvermögen Ausnahmen von der angeführten Regel herbeiführen. — Nachdem der Blitz einmal feste Gegenstände erfaßt hat, geht er nicht leicht wieder von denselben ab; er scheut den Sprung durch die Luft und macht diesen in der Regel nur dann, wenn er so auf einem bedeutend kürzeren Wege zu besseren Leitern gelangen kann.

5) Der Blitz folgt auf seiner Bahn zur Erde vorzüglich den guten Leitern, besonders den Metallen, oder genauer: er nimmt einen solchen Weg zur Erde, auf welchem die Summe der Leitungswiderstände, welche er auf seinem Wege zu überwinden hat, ein Minimum ist. — Nicht die guten Leiter an sich ziehen den Blitz an; er ergreift dieselben und folgt ihnen nur in so fern und nur dann, wenn sie ihm den Uebergang von der Stelle des Aufsprungs bis zu dem feuchten Erdreiche, als dem eigentlichen Ziele des Blitzes, erleichtern.

6) An schlechten Leitern bezeichnet der Blitz seine Bahn durch mannigfache Verletzungen (Zerschmetterung, Entzündung u. dgl.); an guten Leitern, welche eine hinreichende Stärke haben, geht er ohne erhebliche Verletzungen hin, ja oft, ohne eine Spur seines Weges zurückzulassen*). Daher der Nutzen der Blitzableiter, welche die Bestimmung haben, dem Blitze eine zusammenhängende metallische Leitung von hinreichender Stärke von dem höchsten Punkte eines Gebäudes bis zur feuchten Oberfläche der Erde oder in feuchtes Erdreich darzubieten. Eben so verhüten häufig blechene Dachrinnen, Ofenpfeifen und andere metallische Leitungen, welche der Blitz in Gebäuden antrifft, größere Beschädigungen.

Weitere Abweichungen von den drei letzten Hauptregeln werden nicht selten dann herbeigeführt, wenn niederfallender Regen, so wie durch denselben benetzte Wände eine bessere Leitung herstellen.

Von den Wirkungen des Blitzes ist schon oben (in §. 125) im Allgemeinen die Rede gewesen. Wir bemerken hier noch, daß diese sich an der Stelle des Aufsprungs, und wenn der Blitz genöthigt gewesen ist, von einem Leiter zum andern überspringen, an der Stelle des Absprungs am stärksten zeigen. Metalle werden häufig an der Stelle des Auf- oder Absprungs geschmolzen; dasselbe geschieht außerdem, wenn sie eine zu geringe Stärke haben. Brennbare Gegenstände werden, selbst von sehr heftigen Blitzen, nicht immer entzündet, so wie ja auch Schießpulver von einem kräftigen Schlage einer electrischen Flasche zerstreut, aber nicht entzündet wird.

Wenn die Oberfläche der Erde aus einem sehr schlechten Leiter besteht, dringt der Blitz auch in die Tiefe ein, bis er eine feuchte Schicht erreicht. Schlägt der Blitz in trockenes sandiges Erdreich, so werden die Quarzkörner des Sandes geschmolzen, wodurch die sogenannten Blitzröhren entstehen, welche oft eine Länge von 20—30 Fuß erreichen, während ihr innerer Durchmesser zwischen einer halben Linie bis zu 1 oder 2 Zollen wechselt.

*) Aus der Nichtbeachtung dieses Umstandes mögen oft die unsinnigen Berichte unkundiger oder oberflächlicher Beobachter über den Weg, welchen der Blitz genommen haben soll, entstehen, wie man sie so häufig in Zeitungen findet.

Die Blitzröhren sind zuerst von Hentzen, welcher dieselben 1805 in den Sandhügeln der Senner Heide in Westphalen aufgefunden hat, als Erzeugnisse des Blitzes erkannt worden. Später sind dieselben auch in vielen andern Gegenden in Preußen, Sachsen, am Harze, in England, Brasilien u. s. w. aufgefunden worden. Daß diese Röhren wirklich durch den Blitz gebildet worden sind, ist in mehreren Fällen direct dadurch erwiesen worden, daß man an sandigen Stellen, in welche man den Blitz hatte einschlagen sehen, nachgrub und dergleichen Röhren antraf, welche durch zusammengebackene und geschmolzene Quarzkörner gebildet waren.

Die stärkste mechanische Wirkung des Blitzes, welche man kennt, wurde an einem Steinkohlenmagazin in der Nähe von Manchester am 6. August 1809 durch einen heftigen Blitzschlag hervorgebracht, indem eine Mauer von 12 Fuß Höhe und 3 Fuß Dicke, welche ein Gewicht von 520 Ctr. hatte, ohne umzustürzen, so verschoben wurde, daß das eine Ende derselben sich um 9, das andere um 4 Fuß fortbewegt hatte.

Der Blitzableiter besteht aus der Auffangestange und der Ableitungsstange. Die Auffangestange besteht aus (verzinktem) Eisen und endet sich oben in eine vergoldete oder, was noch besser ist, in eine Platinspitze, indem Platin dem Roste gänzlich widersteht und nicht leicht geschmolzen wird. Man nimmt an, daß die senkrechte Auffangestange auf eine Entfernung schützt, welche der anderthalb- bis zweifachen Höhe gleich ist, um welche sie die höchsten benachbarten Theile des Gebäudes überragt. Ein langes Gebäude wird also mehrere Auffangestangen erfordern, zu denen auch eben so viele Ableitungsstangen nöthig werden. — Die mit der Auffangestange verbundene Ableitungsstange ist gewöhnlich eine eiserne Stange von $^3/_4$ Zoll ins Geviert, welche man zum Schutze gegen den Rost mit Oelfarbe überzieht, die man mit Kienruß gemischt hat, wodurch das Leitungsvermögen des Ueberzuges erhöht wird. Sie wird über das Dach und an dem Gebäude herab in den Boden bis zu einer Tiefe, in welcher sich beständig feuchtes Erdreich findet, oder, wenn dieses sein kann, ins Wasser geleitet. Unten theilt man dieselbe in mehrere Arme und umgiebt sie, so weit sie in den Boden hineinreicht, mit ausgeglühter Holzkohle, welche dieselbe gegen das Rosten schützt und die Ableitung vermehrt. Da die eiserne Stange da, wo sie in den Erdboden eintritt, am ersten rostet, so läßt man dieselbe zweckmäßiger in einiger Höhe über dem Boden enden und verbindet das Ende mit einem Kupferstreifen, welchen man bis in das feuchte Erdreich hinabführt. Ueberhaupt kann man statt einer eisernen Stange auch eine dünnere kupferne Stange anwenden, indem Kupfer die Electricität ohngefähr sechsmal besser, als Eisen leitet. Alle Theile des Blitzableiters müssen auf's sorgfältigste verbunden sein, und wenn sie vom Rost gelitten haben sollten, erneuert werden. Größere Metallmassen in oder am Gebäude, metallene Dachbedeckungen, blechene Rinnen, eiserne Stangen u. dgl. müssen mit dem Blitzableiter leitend verbunden werden. — Ein sorgfältig construirter Blitzableiter vermindert die Zahl der Blitzschläge, was auf der einsaugenden und ausströmenden Wirkung der Spitze beruht, und macht sie, wenn sie dennoch stattfinden, für das Gebäude fast immer unschädlich, wie dieß durch vielfache Erfahrungen erwiesen ist. Nur bei fehlerhafter Construction kann der Blitzableiter dem Gebäude gefährlich werden.

Bei Menschen, welche vom Blitze getödtet werden, erfolgt der Tod augenblicklich. Man trifft dieselben häufig nach dem Tode noch ganz in der Stellung, in welcher sie sich unmittelbar vorher befunden hatten. Die Verletzungen sind mehrentheils nur oberflächlich, selten werden innere Theile beschädigt; der Tod scheint vorzüglich in Folge der heftigen Affection des Nervensystems einzutreten, dessen Reizbarkeit zerstört wird.

Verhältnißmäßig finden nur wenige Menschen ihren Tod durch den Blitz. Nach Boudin werden in Frankreich jährlich im Durchschnitt etwas mehr, als 100 Menschen unmittelbar durch den Blitz getödtet, und etwa 200 finden im Ganzen jährlich in Folge von Blitzschlägen ihren Tod. — Um die Gefahr, vom Blitze erschlagen zu werden, noch zu vermindern, kann man während eines Gewitters folgende Regeln beobachten:

Man hüte sich besonders, in Gebäuden in einer unterbrochenen Leitung die vorhandenen Lücken mit seinem Körper auszufüllen. Am gefährlichsten sind die Stellen unter Kronleuchtern, welche in metallenen Ketten hängen, und unter Drathzügen, ferner in der Küche unter dem Rauchfang, da der Ruß im Schornstein ein ziemlich guter Leiter ist. Auch sind an diesen Stellen wirklich häufig Menschen vom Blitze getödtet worden. Auch die Nähe der Spiegel, welche hinten mit Metall belegt sind, der eisernen Stangen in Fenstern und überhaupt größerer Metallmassen kann die Gefahr vermehren. Der beste Platz ist die Mitte einer geräumigen und hohen Stube; in einem niedrigen Zimmer thut man besser, zu sitzen, als zu stehen.

Das ängstliche Schließen der Fenster eines mit Menschen angefüllten Zimmers vermehrt nicht blos unnöthiger Weise die Schwüle und Beklommenheit, sondern auch die Gefahr des Erstickens in dem Falle, daß wirklich ein Blitzstrahl in das Zimmer dringen sollte. Zugluft, zumal trockene, vergrößert die Gefahr nicht. Dagegen kann man allenfalls das Feuer auf dem Küchenheerde ausgehen lassen, da aufsteigender Rauch dem Blitze den Sprung nach dem Schornsteine erleichtert.

Auf der Straße ist man in der Nähe der Mauern, vorzüglich unter Thüren und Thorwegen mehr gefährdet, als in der Mitte der Straße; besonders dürften solche Stellen, wo das Wasser von den Dächern in starken Güssen niederstürzt, zu meiden sein.

Daß im Freien viele Menschen unter Bäumen, Heuhaufen u. dgl. erschlagen worden sind, ist bekannt; andererseits kann es aber auch Gefahr bringen, im flachen Felde als der höchste Gegenstand dazustehen; besser ist es, sich in der Nähe eines hohen Baumes, aber wenigstens zehn Schritte von den längsten Zweigen entfernt, zu befinden. Da es für die Gesundheit, um den Regengüssen zu entgehen, natürlich am besten ist, ein Obdach zu gewinnen, so bemerken wir noch, daß schnelles Laufen die Gefahr nicht wesentlich vermehrt.

*§. 137. Der Rückschlag, das St. Elmsfeuer und das Wetterleuchten.

Zuweilen sollen Menschen während eines Gewitters electrische Schläge empfunden haben, ohne selbst vom Blitze getroffen zu sein. Eben so hat man in Gebäuden an spitzen Gegenständen, Messern, Gabeln u. dgl., electrische Funken in dem Augenblicke wahrgenommen, in welchem ein Blitzstrahl an dem Ableiter desselben oder eines benachbarten Hauses niederfuhr. Diese Erscheinungen, welche man auch wohl als den electrischen Rückschlag bezeichnet hat, dürften ohne Zweifel als Wirkungen des oben (§. 130) näher charakterisirten Nebenstromes*) anzusehen sein.

Des Abends oder des Nachts bemerkt man zuweilen während eines Gewitters oder überhaupt bei einem stark electrischen Zustande der Luft, daß die Spitzen hoher Gegenstände, die metallnen Spitzen der Thürme, der Masten auf Schiffen, hoher Bäume u. dgl. leuchten. Man nennt diese Erscheinung, welche offenbar durch das Ausströmen der Electricität aus Spitzen hervorgebracht wird, das St. Elmsfeuer. Man beobachtet dasselbe häufiger bei heftigen Stürmen und Wintergewittern, als bei Sommergewittern, vielleicht weil bei jenen die Wolken gewöhnlich niedriger ziehen. Zuweilen zeigt sich die Erscheinung auch an Gegenständen, welche nur eine geringe Höhe haben. Man kennt Fälle, daß verschiedene Personen, welche sich im Freien befanden, während eines stark electrischen Zustandes der Luft an den Rändern ihrer Hüte, den Ohren und Mähnen ihrer Pferde, an Gesträuchen und Baumstämmen, die am Wege standen, schwankende Flämmchen bemerkten, welche mit einem schwachen Geräusche verbunden waren.

Vielleicht haben die sogenannten Irrlichter, über welche es noch an genügenden Beobachtungen fehlt, zuweilen eine ähnliche Entstehung.

Des Abends oder des Nachts sieht man nicht selten hellleuchtende Blitze ohne eigentlichen Lichtstrahl und ohne allen Donner. Man nennt dieses Wetterleuchten. Nicht selten zeigt sich dasselbe in bedeutender Höhe über dem Horizonte, zuweilen sogar am wolkenleeren Himmel. Das Wetterleuchten kann theils von Gewittern herrühren, welche allzu entfernt sind, als daß wir den Donner zu vernehmen vermöchten, theils durch den Wiederschein solcher Blitze am Himmel entstehen, welche von Wolken unter dem

*) oder als Seitenentladungen (vergl. oben §. 129, Anm.). — Am 4. Mai 1855 wurden auf dem Felde bei Montebaur während eines Gewitters 126 Schafe und ein Hund wahrscheinlich durch den electrischen Rückschlag getödtet.

Horizonte ausgehen. Endlich sehen wir auch aus den stark geladenen Conductoren unserer Electrisirmaschinen aus hervorragenden Stellen im Dunkeln Lichtbüschel ausströmen, welche nur von einem schwachen Knistern begleitet sind, und wir dürfen daher wohl mit Recht annehmen, daß dergleichen electrische Ausstrahlungen auch bei stark geladenen Wolken vorkommen. Daß die Erscheinung sich nicht bei hellem Tageslichte, sondern nur im Dunkeln zeigen kann, ist von selbst einleuchtend.

Die Volkssprache knüpft an die Erscheinung des Wetterleuchtens auch wohl den Ausdruck: das Wetter kühlt sich ab. Eben so ist es eine bekannte Erfahrung, daß auf die dem Gewitter vorangehende Hitze in den meisten Fällen kühlere Witterung folgt. Wir haben oben die Anhäufung der Electricität in der Gewitterwolke als eine Folge rascher Verdichtung der in der Atmosphäre vertheilten Wasserdämpfe dargestellt. Bekanntlich aber werden Dämpfe durch Abkühlung verdichtet. Gewöhnlich sieht man die nach dem Gewitter eintretende kältere Witterung als eine Folge von diesem an; in den meisten Fällen dürfte jedoch umgekehrt das Gewitter eine Folge einer in den oberen Regionen plötzlich eingetretenen kalten Luftströmung sein, welche hier eine rasche Verdichtung von Wasserdämpfen und Anhäufung von Electricität bewirkt und erst später auch in die unteren Regionen eindringt und die Temperatur derselben erniedrigt.

§. 138. Das Nordlicht.

Wir haben schon oben bemerkt, daß in den höchsten nördlichen Breiten die Gewitter ganz aufhören. An die Stelle derselben scheinen die Nordlichter zu treten. Sie zeigen sich besonders häufig in den dem nördlichen Magnetpole nahe gelegenen Gegenden Amerika's und werden hier zu gewissen Zeiten fast jede Nacht wahrgenommen. Das Licht derselben ist zuweilen so intensiv, daß es selbst am Tage bemerkt wird. Die Häufigkeit und der Glanz der Nordlichter nimmt im Allgemeinen mit der Entfernung vom magnetischen Nordpole ab; doch werden selbst zwischen den Wendekreisen noch zuweilen des Nachts Nordlichter bemerkt. — Auf der südlichen Erdhälfte zeigen sich in ähnlicher Art Südlichter.

Das Nordlicht erscheint am Himmel als ein hellleuchtender, ein dunkleres Segment umschließender, bogenförmiger Streifen, dessen Mittelpunkt ohngefähr im magnetischen Meridiane liegt. Von dem hellen Lichtbogen, welcher abwechselnd in gelbe, rothe und violette Farben spielt, fahren von Zeit zu Zeit nach allen Richtungen Lichtbüschel aus, welche sich bis zum Zenith und über dasselbe hinausstrecken und mit dunkeln Streifen wechseln. Einige Beobachter wollen in höheren Breiten zur Zeit eines sehr lebhaften Nordlichtes ein knisterndes Geräusch bemerkt haben.

Daß das Nordlicht eine electrische Erscheinung ist, geht besonders daraus hervor, daß es die Magnetnadel afficirt (s. oben §. 115), und sein Mittelpunkt in die ohngefähre Richtung des magnetischen Meridians fällt. Auch hat die ganze Erscheinung desselben mit dem Ausströmen der Electricität im Dunkeln große Aehnlichkeit.

Die Richtigkeit dieser Ansicht wird durch die Entdeckung Faradays (vergl. unten §. 162, Anm.) bestätigt, daß ein um seine Axe rotirender Magnet electrische Ströme erzeugt.

Während eines sehr glänzenden Nordlichtes, welches sich fast die ganze Nacht hindurch zwischen dem 28. und 29. August 1859 zeigte, wurden in Deutschland und Frankreich an den Telegraphendräthen starke electrische Ströme beobachtet, welche ein zeitweises Anziehen der electro-magnetischen Anker auf den verschiedenen Stationen bewirkten und zum Theil die Läutewerke in Bewegung setzten.

B. Dynamische Electricität.

§. 139. Die Electricität im Zustande der Ruhe und der Bewegung.

Wenn wir die im Vorhergehenden aufgeführten electrischen Erscheinungen noch einmal überblicken, so stellt sich uns als das Hauptprincip das der Vertheilung heraus: Jeder positiv oder negativ electrisirte Körper A zieht in jedem in seiner Nähe befindlichen Körper B die ungleichnamige Electricität an und stößt die gleichnamige ab. Auf diesem Gesetze beruhen zunächst die Erscheinungen der electrischen Anziehung und Abstoßung überhaupt, ferner die Erscheinungen des Electrophors, der electrischen Flasche, des Condensators u. a. m. Werden die beiden Körper A und B, als welche wir z. B. die innere und äußere Belegung einer (positiv geladenen) electrischen Flasche annehmen wollen, durch einen Leiter mit einander verbunden, so gleichen sich durch denselben die entgegengesetzten Electricitäten der beiden Belegungen aus, indem von der inneren nach der äußeren Belegung hin positive, und von der äußeren nach der inneren negative Electricität strömt. Der beide Belegungen verbindende Leiter wird also von einem zwiefachen electrischen Strome nach entgegengesetzten Richtungen durchlaufen. Dasselbe gilt überhaupt von jedem Leiter, durch welchen die Ausgleichung entgegengesetzter Electricitäten vermittelt wird. Wir unterscheiden hiernach die Electricität im Zustande der Ruhe und im Zustande der Bewegung oder den electrischen Strom. Die Wirkungen der ersteren Electricität, welche wir die statische nennen, bestehen ausschließlich in Anziehung und Abstoßung. Als Wirkungen der bewegten Electricität, welche die dynamische genannt wird, haben wir theils mechanische, Durchbohrung und Zersplitterung, theils physiologische, die electrische Erschütterung, theils Entwickelung von Licht und Wärme, Erhitzung und Entzündung von Körpern, durch welche der Strom hindurch geht, und endlich magnetische, Magnetisirung von Stahlnadeln, neben welchen der Strom senkrecht vorbeigeführt wird, kennen gelernt.

Da, wie wir gesehen haben, sich die Electricität fast augenblicklich fortpflanzt, so war in allen früher betrachteten Fällen der electrische Strom nur ein momentan vorübergehender. Dem Eintritte desselben ging jedoch allemal eine, mehr oder weniger lange Zeit dauernde, Anhäufung statischer Electricität vorher. Wir haben daher die im Vorhergehenden betrachteten electrischen Erscheinungen vorzugsweise statische genannt. In den nun folgenden Paragraphen werden wir uns hauptsächlich mit den Wirkungen anhaltender (continuirlicher) electrischer Ströme beschäftigen, welche wir zum Unterschiede von den vorher behandelten Erscheinungen in die Benennung dynamische zusammenfassen. Während bei jenen die Electricität vor der Entladung, dem Eintritte des Stromes, fast durchgehends eine hohe Spannung zeigte, ist die electrische Spannung bei den nun zu erörternden Erscheinungen entweder äußerst gering, oder bei weitem in den meisten Fällen ganz unmerklich.

§. 140. Galvani's Entdeckung und Volta's Erklärung.

Im Jahre 1786 beobachtete Galvani, Professor der Anatomie zu Bologna, daß Froschschenkel, welche er in der Absicht, die physiologischen Wirkungen der Electricität zu beobachten, von der Haut entblößt und am oberen Ende vermittelst kupferner Drähte an einem eisernen Geländer aufgehängt hatte, in heftige Zuckungen geriethen, als die Füße derselben durch einen

Zufall mit dem Geländer in Berührung kamen. Galvani glaubte, daß die Ursache dieser Erscheinungen in einer besonderen thierischen Electricität zu suchen sei*). Alexander Volta, Professor der Physik zu Padua, welcher Galvani's Versuche einer sorgfältigen Prüfung unterwarf, zeigte jedoch, daß überhaupt jedesmal, wenn zwei verschiedene Metalle, in den angeführten Versuchen Kupfer und Eisen, in Berührung kommen, dieselben sich electrisch erregen, und er erklärte daher die angeführten Zuckungen für eine Folge der durch den Froschschenkel sich wieder ausgleichenden entgegengesetzten Electricitäten der beiden Metalle.

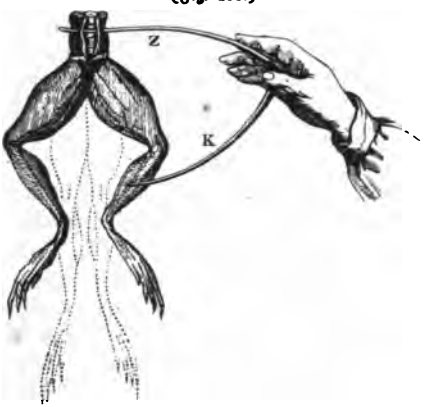
Um die Richtigkeit dieser Behauptung darzuthun, bediente sich Volta einer Doppelplatte aus Kupfer und Zink, k und z (Fig. 135), welche er an den Berührungsstellen zusammenlöthete. Wenn er nun die Zinkplatte mit der Hand ableitend berührte, zeigte die Kupferplatte am Condensator negative Electricität. Wenn er dagegen die Kupferplatte in der Hand hielt, so zeigte die Zinkplatte am Condensator positive Electricität.

(Fig. 135.)

Dieselbe Erscheinung findet im Wesentlichen statt, so oft zwei Metalle, überhaupt zwei gute Leiter der Electricität mit einander in Berührung kommen.

Man unterscheidet nach Volta Erreger oder Electromotoren der ersten Klasse, zu denen alle Metalle und die Kohle gehören, und Erreger der zweiten Klasse, zu denen man die Flüssigkeiten, Wasser, Säuren, Auflösungen der Alkalien, Salze u. s. w. rechnet.

(Fig. 136.)



Nach Grove findet zwischen einer Kupfer- und einer Zinkplatte selbst dann schon eine electrische Erregung statt, wenn dieselben einander bis auf einen sehr kleinen Abstand genähert werden.

Die von Galvani zuerst gemachten Beobachtungen lassen sich am bequemsten auf die Art wiederholen, daß man an dem Schenkelpaare eines kurz vorher getödteten Frosches, nach Abziehung der Haut, den Rückennerv und den Muskel mit zwei verschiedenartigen Metallstreifen berührt und diese mit einander in Berührung bringt, worauf eine lebhafte Zuckung der Schenkel eintritt. Diese Erregbarkeit ist jedoch kurz nach dem Tode des Thieres am stärksten, nimmt rasch ab und hört nach einigen Stunden ganz auf.

§. 141. Gesetze der electrischen Erregung.

Von den Electromotoren der ersten Klasse gelten folgende Hauptgesetze:

1) Wenn zwei Metalle sich berühren, so erregen sich dieselben gegenseitig electrisch; in dem einen sammelt sich mehr positive, in dem andern mehr negative Electricität an. So lange die gehörig isolirten Metalle sich be-

*) Vergl. unten §. 164.

rühren, binden sich die erregten Electricitäten größtentheils, in ähnlicher Art, wie die entgegengesetzten Electricitäten der beiden Belegungen der electrischen Flasche oder des Condensators; sie werden dagegen frei, wenn man die Metalle von einander trennt. — Bringt man zwei sorgfältig abgeschliffene Metallplatten, z. B. eine Zink- und eine Kupferplatte, welche man an isolirenden Handgriffen festhält, mit einander in innige Berührung, so zeigt nach der Trennung die Zinkplatte an einem empfindlichen Electroscope deutlich positive, die Kupferplatte negative Electricität.

Aus diesen Versuchen schließen wir, daß bei der Berührung zweier Metalle, Zink und Kupfer, eine Störung des electrischen Gleichgewichts, eine Vertheilung der entgegengesetzten Electricitäten in der Art stattfindet, daß vom Kupfer nach dem Zink positive, vom Zink nach dem Kupfer negative Electricität übergeht, und wir schreiben diese Vertheilung der Wirkung einer besondern, bei der Berührung der beiden Metalle sich äußernden Kraft zu, welche wir die electromotorische Kraft nennen.

2) Die Erreger der ersten Klasse lassen sich in eine solche Reihe ordnen, daß jedesmal der folgende, mit einem vorhergehenden in Berührung gebracht, positive, der vorhergehende aber negative Electricität erhält. Diese Reihe, Spannungsreihe, ist für die wichtigsten Electromotoren folgende:

—
Kohle
Platin
Gold
Silber
Kupfer
Eisen
Zinn
Blei
Zink
+

3) Die electrische Erregung ist um so größer, je weiter die in Berührung zu bringenden Metalle in der aufgeführten Spannungsreihe von einander abstehen. Sie ist also am größten zwischen Kohle oder Platin und Zink. — Die electrischen Differenzen zwischen zwei auf einander folgenden Gliedern sind jedoch sehr ungleich. So findet ins Besondere zwischen Blei und Zink ein auffallender Sprung statt, so daß Blei und Zink in der Berührung sich (ohngefähr) eben so kräftig erregen, als Platin und Blei. (Also in der ersteren Verbindung Blei eben so stark negativ electrisch wird, als in der zweiten positiv.)

4) Wenn mehrere Metallplatten (z. B. Kupfer, Gold, Zinn, Zink) über einander geschichtet werden, so ist die electrische Spannung die nehmliche, als wenn die beiden Endplatten (Kupfer und Zink) allein und unmittelbar sich berühren.

5) Es ist daher einerlei, ob zwei Metalle sich unmittelbar berühren oder durch ein drittes, z. B. durch einen metallischen Draht, verbunden sind.

6) Die electrische Spannung ist dieselbe, wenn die sich erregenden Metalle an einer oder mehreren Stellen sich berühren. Dagegen ist wesentlich, daß zwischen denselben wirklich metallische Berührung stattfindet; die

geringste Oxydschicht oder Verunreinigung an den sich berührenden Stellen kann die Wirkung bedeutend schwächen oder ganz aufheben.

Die Erreger der zweiten Klasse bilden nicht, wie die Erreger der ersten Klasse, eine bestimmte Spannungsreihe und befolgen überhaupt weniger bestimmte Gesetze. Im Allgemeinen lassen sich über dieselben folgende Sätze aufstellen:

7) Wenn man einen Erreger der ersten Klasse mit einem Erreger der zweiten in Berührung bringt, z. B. eine Metallplatte in Wasser taucht, welchem man etwas Säure zugesetzt hat, so zeigt das Metall am hervorragenden Ende (in den meisten Fällen) freie negative und folglich die Flüssigkeit freie positive Electricität.

8) Mit den meisten Flüssigkeiten, ins Besondere mit verdünnten Säuren, werden die positiven Metalle, vorzüglich Zink, am stärksten negativ electrisch; die electrische Spannung ist schwächer bei den mehr negativen Metallen, Blei, Kupfer, Silber u. s. w.

9) Wenn man in eine Flüssigkeit zugleich zwei Metalle, (wie Kupfer und Zink), welche durch dieselbe ungleich erregt werden, so eintaucht, daß die Metalle sich selbst in keinem Punkte berühren, so zeigt das stärker erregte (Zink) am hervorragenden Ende freie negative, das schwächer erregte (Kupfer) freie positive Electricität.

In concentrirter Salpetersäure werden nach den Untersuchungen von Buff Gold, Platin, Kupfer und Eisen nicht negativ, sondern positiv erregt; Gold und Platin zeigen dieses abweichende Verhalten selbst in verdünnter Schwefelsäure.

Die vollständigere Spannungsreihe ist für die bekannteren einfachen Stoffe vom negativen zum positiven fortschreitend ohngefähr folgende:

— Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff, Chlor, Brom, Jod, Phosphor, Arsenik, Kohle, Chrom, Antimon, Platin, Gold, Quecksilber, Silber, Kupfer, Wismuth, Kobalt, Nickel, Eisen, Zinn, Blei, Zink, Wasserstoff, Mangan, Aluminium, Natrium, Kalium +.

§. 142. Galvanische Kette.

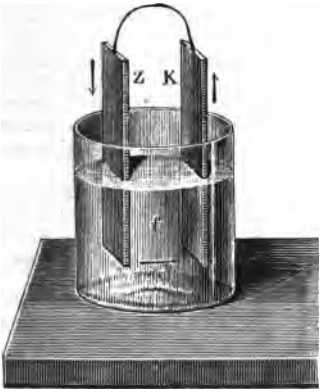
Durch die Verbindung zweier Electromotoren der ersten Klasse und eines Electromotors der zweiten Klasse entsteht die galvanische Kette. Als Erreger der ersten Klasse wendet man wegen ihres bedeutenden electrischen Gegensatzes und verhältnißmäßig billigen Preises am häufigsten Zink und Kupfer (in der weiter unten anzuführenden Grove'schen Kette Zink und Platin, in der Bunsen'schen Zink und Kohle) an; zum Erreger der zweiten Klasse nimmt man gewöhnlich die verdünnte Auflösung eines Salzes (Kochsalz, Salmiak) oder einer Säure (Schwefelsäure, Salpetersäure). Man verbindet die drei Glieder der Kette so, daß sich die Flüssigkeit zwischen den beiden Metallen befindet, indem man die Metalle entweder in die Flüssigkeit eintaucht oder zwischen dieselben eine mit der Flüssigkeit getränkte Papp- oder Tuchscheibe legt. Die Kette heißt geschlossen, wenn die Metalle sich berühren, was unmittelbar oder mittelbar durch einen beide verbindenden Metalldrath geschehen kann. Die Kette heißt geöffnet, wenn zwischen den Metallen weder mittelbare, noch unmittelbare Berührung stattfindet.

Fig. 137 stellt eine geschlossene galvanische Kette dar; zwei Metalle K (Kupfer) und Z (Zink) tauchen in eine gesäuerte Flüssigkeit f und sind außerhalb derselben durch einen Drath leitend verbunden.

In der geöffneten Kette zeigt, wie wir oben (§. 141, 9) gesehen haben, das durch die Flüssigkeit stärker erregte Metall, Zink, am hervorragenden

Ende freie negative, das schwächer erregte Metall, Kupfer, freie positive Electricität. Wird die Kette geschlossen, indem die aus der Flüssigkeit hervorragenden Enden der beiden Metalle entweder in unmittelbare Berührung gebracht oder durch einen Drath verbunden werden, so muß in Folge der Anziehung der in der angegebenen Art erregten entgegengesetzten Electricitäten durch den Schließungsbogen der Kette vom Kupfer zum Zink positive, vom Zink zum Kupfer negative Electricität übergehen.

(Fig. 137.)



In der geschlossenen galvanischen Kette wirken aber auch die Metalle selbst aufeinander erregend ein, und diese gegenseitige Erregung der beiden Metalle ruft, (wie wir oben in §. 141, 1 gesehen haben) ebenfalls einen Uebergang von positiver Electricität vom Kupfer zum Zink und von negativer Electricität vom Zink zum Kupfer hervor, so daß also beide electromotorische Kräfte, die electrische Erregung zwischen den beiden Metallen und der Flüssigkeit und die Erregung zwischen den Metallen selbst, in ganz gleichem Sinne wirksam sind und sich daher in ihren Wirkungen verstärken.

Indem aber alle drei Leiter, die beiden Metalle und die Flüssigkeit, in ununterbrochener Verbindung stehen, so findet auch zwischen denselben eine unausgesetzte electrische Erregung und eine fortwährende Entladung der erregten entgegengesetzten Electricitäten statt, so daß also in der geschlossenen Kette durch den Schließungsbogen derselben fortwährend positive Electricität vom Kupfer zum Zink und negative Electricität vom Zink zum Kupfer überströmt, während in der zwischen beiden Metallen befindlichen Flüssigkeit diese beiden Ströme natürlich die entgegengesetzte Richtung befolgen, (nehmlich durch die Flüssigkeit vom Kupfer zum Zink negative, vom Zink zum Kupfer positive Electricität übergeht.)

Da mit der Richtung des einen dieser beiden Ströme auch die des andern gegeben ist, so werden wir uns im Folgenden auf die Anführung des einen, nehmlich des positiven beschränken. Wir sprechen demgemäß das folgende Hauptgesetz aus:

In der geschlossenen galvanischen Kette geht durch den Schließungsbogen derselben der positive Strom vom Kupfer zum Zink (und durch die zwischen beiden Metallen befindliche Flüssigkeit vom Zink zum Kupfer).

Wenn man eine Leidner Flasche durch einen Metalldrath, welcher beide Belegungen verbindet, entladet, so durchläuft denselben, wie wir in §. 139 gesehen haben, ebenfalls ein zweifacher, positiver und negativer, Strom in entgegengesetzten Richtungen. Dieser Strom unterscheidet sich aber von dem continuirlichen Strome der galvanischen Kette durch seine auf einen Moment beschränkte Dauer. Auch wenn wir die Scheibe einer Electrisirmaschine fortwährend umdrehen und den positiven Conductor mit der Erde (oder mit dem negativen Conductor) durch einen Drath leitend verbinden, so wird dieser von keinem continuirlichen Strome durchlaufen. Denn einmal berühren sich Reibzeug und Reiber immer nur in einzelnen Punkten, und zweitens findet zwischen dem Reiber und den Spitzen des Conductors immer nur dann ein Uebergang der Electricität statt, wenn diese

m Reiber eine hinreichende Spannung erlangt hat, um den Leitungswiderstand der trennenden Luftschicht zu überwinden. In einer geschlossenen galvanischen Kette stehen dagegen alle drei Glieder in einem innigen leitenden Zusammenhange, und da die in der dreifachen Berührung thätigen electromotorischen Kräfte unausgesetzt fortwirken, so muß die Kette sich immer wieder aufs Neue laden und entladen, und folglich bei der ungeheuern Geschwindigkeit, mit welcher sich die Electricität fortpflanzt, der electrische Strom den Schließungsdrath der Kette in jeder Secunde unzählige Male durchlaufen. Wenn daher die Maschinenelectricität im Allgemeinen die galvanische an Spannung bedeutend übertrifft, so finden dagegen die Wirkungen der ersteren nur unterbrochen, gleichsam stoßweise statt, während die letztere vielmehr einem ununterbrochen fließenden Strome zu vergleichen und weit mehr geeignet ist, anhaltende Wirkungen hervorzubringen, weshalb auch gerade die galvanische Electricität bereits in Gewerben mehrfache Anwendung gefunden hat.

Da die Electricität in der (einfachen und mehrentheils auch in der zusammengesetzten) galvanischen Kette eine weit geringere Spannung, als die Maschinen-Electricität besitzt, so bietet die Isolirung derselben weniger Schwierigkeit dar; es ist daher auch das Gelingen der im Folgenden anzuführenden Versuche über galvanische Electricität von der Beschaffenheit der Witterung ganz unabhängig.

Die Richtung des electrischen Stromes in der geschlossenen galvanischen Kette hängt nicht allein von der Stellung ab, welche die beiden festen Leiter in der im vorhergehenden Paragraphen aufgeführten Spannungsreihe einnehmen, sondern wird auch wesentlich durch die Beschaffenheit des flüssigen Leiters bedingt. Man kann im Allgemeinen annehmen, daß der positive Strom von dem Metalle, welches von der Flüssigkeit am wenigsten angegriffen wird, nach demjenigen hingeht, welches die stärkste chemische Veränderung erleidet.

Die electromotorische Wirksamkeit des gewöhnlich durch beigemischte Metalle und Kohle verunreinigten Zinks wird bedeutend erhöht, wenn man dasselbe vorher amalgamirt; dieses geschieht, indem man dasselbe zuerst mit verdünnter Schwefelsäure reinigt und dann mit Quecksilber vermittelst eines in die verdünnte Säure getauchten Lappens oder einer kleinen Bürste so lange reibt, bis es eine vollkommen blanke Oberfläche darbietet. — Chemisch reines Zink wird von verdünnten Säuren gar nicht oder nur schwach angegriffen. Das gewöhnliche, unreine Zink wird dagegen von Säuren rasch aufgelöst, indem dasselbe durch die beigemengten Stoffe, Metalle und Kohle, welche sich gegen das Zink electro-negativ verhalten, stark positiv erregt wird. Es bilden daher diese Beimengungen mit dem Zink und der Flüssigkeit schon für sich eine galvanische Kette, deren electrischer Strom aber nicht durch den das Zink mit dem Kupfer verbindenden Schließungsdrath hindurch geht. — Bei dem amalgamirten Zink wird die Oberfläche desselben mit einer Schicht von Amalgam bedeckt, welches sich in hohem Maaße electropositiv verhält. Es kommen nehmlich die Amalgame mehrentheils in der Spannungsreihe bei Weitem mehr nach der positiven Seite hinzustehen, als man nach der Stelle, welche die Gemengtheile für sich in dieser Reihe einnehmen, vermuthen sollte, wie schon Ritter (ums Jahr 1800) gefunden hat.

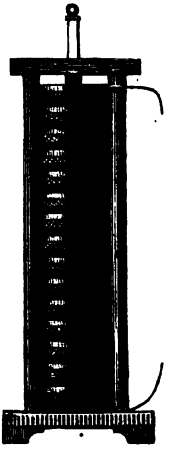
§. 143. Die Volta'sche Säule oder Batterie.

Wir verdanken diese für die galvanische oder Contactelectricität so wichtige Vorrichtung dem Scharfsinne Volta's, welcher dieselbe zuerst im Jahre 1800 öffentlich bekannt machte.

Wenn man mehrere Kupfer- und Zinkplatten übereinander schichtet, so wird hierdurch die Wirkung, wie wir bereits oben gesehen haben, nicht verstärkt, sondern sie bleibt dieselbe, als wenn die oberste und unterste Platte sich unmittelbar berührten. Schaltet man aber zwischen die einzelnen Plattenpaare einen feuchten Leiter ein, so zeigen sich die Erscheinungen der galvanischen Electricität in verstärktem Maaße. Bei den Säulen, wie sie ursprünglich von Volta construirt worden sind, Fig. 138, wendet man als feste Leiter gewöhnlich kreisförmige oder viereckige Kupfer- und Zinkplatten von 2 bis 4 Zoll Durchmesser und als feuchten Zwischenkörper dünne Papp- oder Tuchscheiben an, welche man in eine Auflösung von Kochsalz in Essig oder Salmiak in Wasser getaucht hat. Man schichtet nun diese Körper in

der Ordnung Zink, Feuchtigkeit, Kupfer, Zink, Feuchtigkeit, Kupfer u. s. w., oder in der umgekehrten Folge Kupfer, Feuchtigkeit, Zink, Kupfer, Feuchtigkeit, Zink u. s. w. bis zu 50 und 100 Plattenpaaren über einander. Als Unterlage dient ein Gestell von Holz, auf welchem drei senkrecht in die Höhe gehende Glasstäbe angebracht sind, welche die Platten zusammenhalten.

(Fig. 138.)



Das mit der Kupferplatte schließende Ende der Säule wird (aus sogleich zu erörternden Gründen) der positive, das mit der Zinkplatte schließende Ende der negative Pol genannt. An die Pole sind Dräthe befestigt, durch welche man dieselben bequem mit einander oder mit einem Körper, durch welchen der electrische Strom hindurch geleitet werden soll, verbinden kann.

Befindet sich die Säule im vollkommen isolirten Zustande und bringt man den Kupferpol mit einem empfindlichen Electrometer, z. B. mit einem Goldblattelectrometer, in leitende Verbindung, so divergiren die Blättchen mit positiver Electricität; dagegen gehen sie mit negativer Electricität auseinander, wenn sie mit dem Zinkpole verbunden werden. — Beide Electricitäten nehmen von den Enden, Polen, nach der Mitte der Säule hin ab, so daß die Säule in diesem Zustande große Aehnlichkeit mit einem Magneten hat.

Bringt man den negativen (Zink-) Pol mit der Erde in leitende Verbindung, so vermehrt sich die electrische Spannung am entgegengesetzten positiven (Kupfer-) Pole. — Dasselbe gilt von der negativen Electricität des Zinkpoles, wenn man den positiven (Kupfer-) Pol mit der Erde leitend verbindet.

Werden beide Pole unter sich oder mit dem Erdboden in leitende Verbindung gebracht, so hört überhaupt in der Säule die electrische Spannung auf; sie kehrt wieder, nachdem man diese Verbindung aufgehoben hat.

Die verstärkte Wirkung der Volta'schen Säule oder Batterie läßt sich in folgender Art verdeutlichen: Denken wir uns eine Säule von der Anordnung

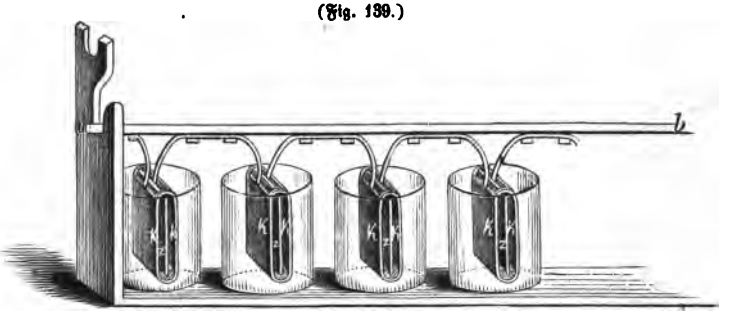
ZFKZFKZFKZFK ...

so ladet sich die Kupferplatte der ersten der zur Säule verbundenen Ketten in Folge der zwischen den einzelnen Gliedern dieser Kette stattfindenden electrischen Erregung, wie wir oben (§. 142) gesehen haben, mit positiver Electricität, welche sich durch alle mit dieser Platte in Verbindung stehenden Platten bis zur äußersten Kupferplatte fortpflanzt. Da nun in gleicher Weise sich auch jede folgende Kupferplatte mit positiver Electricität ladet, welche sich in der angegebenen Richtung bis zur letzten Kupferplatte fortpflanzt, so ergiebt sich, wenn wir die Stärke einer einzelnen Ladung mit + E bezeichnen, und die Säule aus n Plattenpaaren besteht, für die letzte Kupferplatte die Ladung + nE. Aus ganz gleichen Gründen ladet sich die Zinkplatte jeder einzelnen Kette vermöge der zwischen den Gliedern derselben stattfindenden electrischen Erregung mit negativer Electricität, welche sich nach der andern Seite hin bis zur äußersten Zinkplatte ausbreitet, so daß wir die Größe der gesammten Ladung dieser Platten durch — nE auszudrücken haben. — Die electrische Spannung an den Polen einer Volta'schen Säule muß daher nahezu in gleichem Verhältnisse mit der Zahl der Plattenpaare zunehmen.

Die Wirkungen einer Volta'schen Säule von der oben angegebenen Construction sind unmittelbar nach der Aufrichtung derselben am kräftigsten und nehmen dann rasch ab. Der Grund hiervon ist die unausgesetzte Berührung der Metallplatten mit der Flüssigkeit und die Veränderungen, welche dieselben in Folge hiervon erleiden. (Vergl. unten §. 144.) Um wieder kräftige Wirkungen zu erhalten, muß man die Säule auseinander nehmen, die Platten reinigen und dann auf's Neue aufbauen, was einen bedeu-

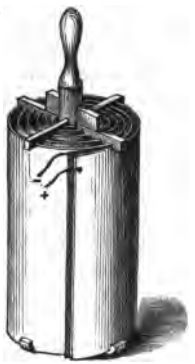
tenden Zeitaufwand erfordert. Um dieſen Uebelſtand zu beſeitigen, hat man die Einrichtung der Volta'ſchen Säule mannigfaltig abgeändert. Eine der bequemſten und einfachſten Abänderungen iſt der Trogapparat von Wollaſton, Fig. 139. Dieſer beſteht aus

(Fig. 139.)



mehreren mit verdünnter Säure *) gefüllten Gläſern, innerhalb deren ſich die Plattenpaare befinden. Die Kupferplatte kk jeder Zelle umgiebt die Zinkplatte z, welche durch einen angelötheten Kupferſtreifen mit der Kupferplatte der folgenden Zelle verbunden iſt. Nur die Kupferplatte der erſten und die Zinkplatte der letzten Zelle ſind nicht verbunden, ſondern laufen in freie Dräthe aus, welche die Pole bilden. Die kupfernen Streifen, welche das Zink der vorhergehenden Zelle mit dem Kupfer der folgenden verbinden, ſind an eine hölzerne Latte ab angenagelt, vermittelſt deren ſich ſämmtliche Platten aus den mit Säure gefüllten Gläſern ausheben laſſen. Dieſe Einrichtung gewährt den Vortheil, daß man die Platten nach Beendigung eines Verſuches raſch außer Berührung mit der geſäuerten Flüſſigkeit bringen und nach den nöthigen Vorbereitungen für einen folgenden Verſuch dieſe Verbindung leicht wieder herſtellen kann.

(Fig. 140.)



In vielen Fällen thut auch eine einfache Zink-Kupferkette in der Form der Hare'ſchen Spirale, welche Fig. 140 darſtellt, gute Dienſte. Dies iſt ins Beſondere dann der Fall, wenn der Schließungsdrath der Kette ſehr kurz iſt, oder wenn derſelbe durch einen nicht ſehr langen, aber verhältnißmäßig dicken Drath gebildet wird. — Dieſe Vorrichtung beſteht aus zwei beträchtlich großen Platten von Kupfer und Zink, welche um ſie in ein mit verdünnter Säure gefülltes Gefäß eintauchen zu können, ſpiralförmig in einander, doch ſo gewunden ſind, daß ſie ſich an keiner Stelle berühren.

*§. 144. Conſtante Ketten.

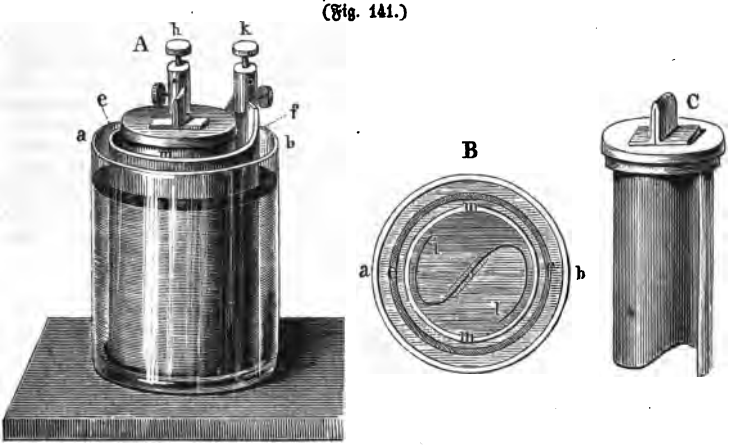
Ehe wir von den Wirkungen der einfachen oder zuſammengeſetzten galvaniſchen Ketten handeln, haben wir uns noch mit einigen Abänderungen derſelben bekannt zu machen, welche dem Zwecke dienen, einen andauernden Strom von möglichſt gleichmäßiger Stärke zu liefern. Die einfachen oder zuſammengeſetzten Ketten von der ältern Einrichtung, wie wir dieſelben bisher beſchrieben haben, geben nur unmittelbar nach der Zuſammenſetzung kräftige Wirkungen. Die Stärke des Stromes, welchen dieſelben liefern, iſt nicht von Dauer, ſondern nimmt raſch ab. Wie wir nehmlich weiter unten ſehen werden, findet, wenn man die Poldräthe einer Kette in Waſſer leitet, eine

*) Man nimmt gewöhnlich auf 100 Theile Waſſer 2¼ Th. concentrirte Schwefelſäure und 2 Th. Salpeterſäure.

Zerlegung des Waſſers in der Art ſtatt, daß am poſitiven Pole Sauerſtoff, am negativen Waſſerſtoff auftritt. In gleicher Weiſe wird auch das Waſſer in jeder der Zellen, welche die Batterie zuſammenſetzen, zerlegt. Indem in Folge hiervon das poſitive Metall, Zink, ſich mit einer Oxydſchicht bekleidet, und an dem negativen Erreger, Kupfer, Platin oder Kohle, ſich in kleinen Blaſen eine Schicht von Waſſerſtoff ablagert, wird der urſprüngliche Zuſtand der Batterie immer mehr verändert und die Wirkſamkeit derſelben geſchwächt. Dieſer Uebelſtand wird nun in den ſogenannten conſtanten Ketten, welche durch eine weit anhaltendere und gleichmäßigere Wirkſamkeit vor denen der älteren Einrichtungen einen entſchiedenen Vorzug haben, vermieden oder doch weſentlich vermindert. Eine Eigenthümlichkeit dieſer Ketten iſt, daß bei denſelben zwei Flüſſigkeiten angewendet werden, welche durch eine poröſe Scheidewand, gewöhnlich durch eine Zelle von unglaſirtem Thon, welche, ohne den leitenden Zuſammenhang zwiſchen den beiden Flüſſigkeiten aufzuheben, das Zuſammenfließen derſelben verhindert, von einander getrennt ſind. Das poſitive Metall wird nur von der einen, das negative nur von der andern Flüſſigkeit umſpült.

Wir heben unter den conſtanten ins Beſondere die Grove'ſche Zink-Platinkette, welche von allen die kräftigſten Wirkungen liefert, Fig. 141,

(Fig. 141.)



hervor. A zeigt eine Anſicht, B einen horizontalen Durchſchnitt einer ſolchen Kette. Ein Glasgefäß ab iſt mit verdünnter Schwefelſäure gefüllt; in dieſe taucht ein hohler, unten offener Zinkcylinder ef, und innerhalb dieſes letztern befindet ſich ein unten geſchloſſener hohler Thoncylinder mm, welcher mit concentrirter Salpeterſäure gefüllt iſt. In dieſe taucht ein Platinblech il, welches, um eine größere Fläche mit der Flüſſigkeit in Berührung zu bringen, Sförmig gebogen iſt, wie dieß die beſondere Abbildung C dieſer Platte zeigt. Der Thoncylinder iſt durch einen hölzernen Deckel geſchloſſen, um die Ausbreitung der das Athmen beläſtigenden Dämpfe von ſalpetriger Säure zu verhindern. An dem Platinbleche und an dem Zinkcylinder ſind die Klemmſchrauben h und k angebracht, durch welche Dräthe mit denſelben verbunden werden können.

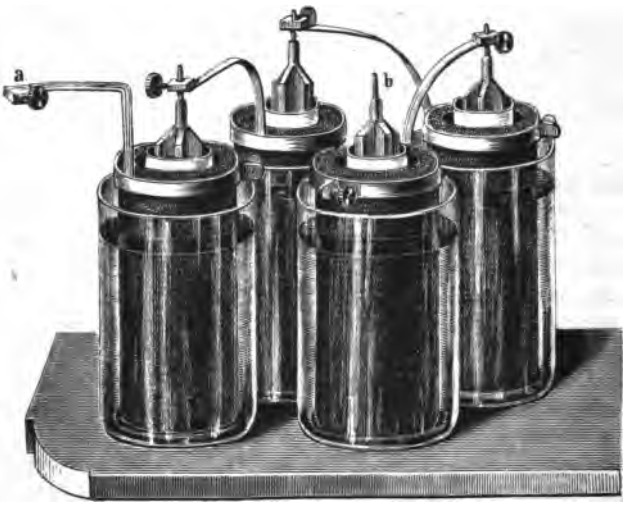
Sollen mehrere Grove'ſche Ketten zu einer Batterie vereinigt werden, ſo verbindet man den Zinkcylinder der erſten Zelle durch einen Drath mit

dem Platinblech der zweiten, den Zinkcylinder der zweiten mit dem Platinblech der dritten Zelle u. s. w. Ein an dem unverbundenen Platinblech der ersten Zelle befestigter Drath bildet den positiven Pol, und eben so bildet ein an dem unverbundenen Zinkcylinder der letzten Zelle befestigter Drath den negativen Pol.

Die andauernde Wirksamkeit dieser Kette beruht auf Folgendem: So wie in jeder galvanischen Kette wird auch hier das positive Metall Zink oxydirt, indem das dieses Metall umspülende Wasser zerlegt wird, und der Sauerstoff desselben sich mit dem Zink zu Zinkoxyd verbindet, welches von der Säure aufgelöst wird. Das entbundene Wasserstoffgas aber, welches von dem negativen Metalle, Platin, angezogen wird, kann nicht anders an dieses herantreten, als daß es vorher durch die das Platin umspülende Salpetersäure hindurchgeht. Indem aber diese Säure sehr geneigt ist, an leicht oxydirbare Körper, wie z. B. Wasserstoff, Sauerstoff abzugeben und dieselben zu oxydiren, wird der in Folge der Oxydation des Zinks frei gewordene Wasserstoff sofort wieder zu Wasser oxydirt, so daß sich also niemals, wie in den veränderlichen Ketten, das negative Metall, hier Platin, mit einer Schicht von Wasserstoff bekleiden kann, sondern unausgesetzt in unmittelbarer Berührung mit der dasselbe umspülenden Flüssigkeit, Salpetersäure, bleibt.

Eine ganz ähnliche Einrichtung wie die Zink-Platinkette hat die ebenfalls sehr wirksame Zink-Eisenkette, nur daß man bei derselben das Eisen nicht in Form von dünnen Blechen, sondern von starken Stäben anwendet Die Anwendung des Eisens in diesen Ketten beruht darauf, daß sich dasselbe in sehr concentrirter Salpetersäure mit einer Oxydschicht überzieht, welche dasselbe gegen die weiteren Angriffe der Säure schützt und in ihrem electrischen Verhalten dem Platin sehr nahe steht. — Man nennt diese merkwürdige Eigenschaft des Eisens die Passivität desselben. — Man muß aber hierbei eine stark concentrirte Salpetersäure anwenden, indem das Eisen, wenn die Concentration der Säure unter einen gewissen Punkt herabgekommen ist, von der Säure dann mit großer Heftigkeit und unter starker Entwickelung von salpetrigsauren Dämpfen angegriffen wird.

(Fig. 142.)

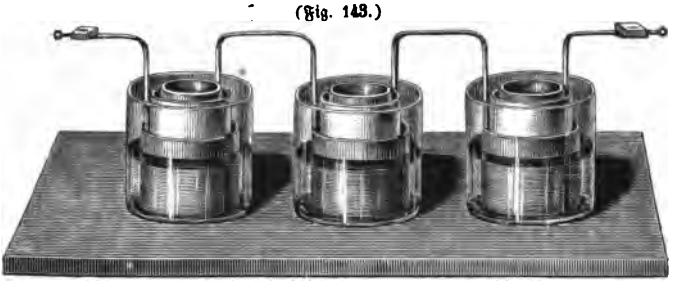


Von diesem Uebelstande frei ist die Bunsen'sche Zink-Kohlenkette, welche an Wirksamkeit der Zink-Platinkette sehr nahe, aber um Vieles billiger kommt und daher besonders häufig angewendet wird. Bei der Zink-Kohlenkette befindet sich in einem gläsernen, mit concentrirter Salpetersäure angefüllten Gefäße ein beiderseits offener Cylinder von ausgeglühter Steinkohle, in diesem ein unten geschlossener Cylinder von porösem Thon, welcher mit verdünnter Schwefelsäure angefüllt ist, und innerhalb dieses letzteren ein vierkantiger Zinkkolben. Sollen mehrere dieser Ketten zu einer Batterie, Fig. 142, verbunden werden, so wird der aus dem Glase hervorragende Rand des Kohlencylinders mit einem kupfernen Ringe umgeben, welcher durch eine Schraube fest angezogen werden kann. Ein an diesen Ring angelötheter kupferner Streifen wird vermittelst einer Klemmschraube mit dem Zinkkolben der folgenden Zelle verbunden. Der an den kupfernen Ring, welcher den Kohlencylinder der ersten Zelle umfaßt, angelöthete Kupferstreifen a bildet den positiven Pol und das hervorbringende Ende b des Zinkkolbens der letzten Zelle den negativen Pol. Auch hier bleibt das negative Metall, die Kohle, fortwährend mit derselben Flüssigkeit, der Salpetersäure, in ungestörter Berührung, indem das sich entbindende Wasserstoffgas sogleich wieder auf Kosten der Salpetersäure oxydirt wird, wodurch sich salpetrige Säure bildet.

Die so eben beschriebenen Zinkkohlen- und Zinkplatinketten übertreffen die älteren Ketten nicht blos in der Dauer, sondern auch in der Stärke ihrer Wirkungen.

Einen zwar beträchtlich schwächern, aber noch gleichmäßiger andauernden Strom, als die eben beschriebenen Ketten ihn liefern, giebt die Zink-Kupferkette, welche zuerst von Becquerel, der überhaupt als Erfinder der constanten Ketten anzuführen ist, angegeben worden ist. Nach der Einrichtung, welche diesen Ketten Daniell, nach dem sie auch gewöhnlich Daniell'sche genannt werden, gegeben hat, befindet sich, wie bei der Bunsen'schen Zinkkohlenkette, das Zink, welches hier die Form eines hohlen Cylinders hat, in verdünnter Schwefelsäure, mit welcher der poröse Thoncylinder angefüllt ist. Statt des diesen Thoncylinder äußerlich umgebenden Kohlencylinders wird jedoch hier ein Cylinder aus dünnem Kupferblech und statt der Salpetersäure eine Auflösung von Kupfervitriol angewendet. Fig. 143 stellt drei mit einander verbundene Daniell'sche

(Fig. 143.)

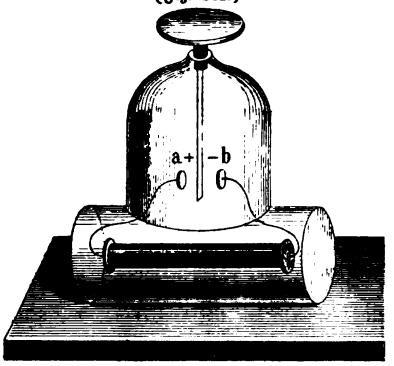


Elemente dar. — Auch bei diesen Ketten findet keine Entwickelung von Wasserstoffgas statt; denn der durch Oxydation des Zinks von dem Sauerstoff, — mit welchem er in dem Wasser verbunden war, — getrennte Wasserstoff wirkt reducirend auf das in der Kupfervitriollösung aufgelöste Kupferoxyd, vereinigt sich mit dem Sauerstoff desselben wieder zu Wasser, wodurch metallisches Kupfer ausgeschieden wird, welches sich an dem Cylinder aus Kupferblech absetzt und denselben verdeckt, so daß auch bei diesen Ketten das negative Metall, Kupfer, mit der Flüssigkeit in unmittelbarer und durch keine Wasserstoffgasschicht unterbrochener Berührung bleibt.

Eine geringere Wichtigkeit besitzen die so genannten trockenen oder Zamboni'schen Säulen. Man erhält eine solche sehr einfach, wenn man Bogen von unächtem Silberpapier (Zinn) mit Bogen von unächtem Goldpapier (Kupfer) an den unbelegten Seiten zusammenleimt, dieselben hierauf in Scheiben, etwa von der Größe eines Thalers, zerschneidet und 1000 bis 2000 dieser Scheiben so über einander schichtet, daß immer die Zinn- und die Kupferseite sich berühren. Das aus der Luft Feuchtigkeit einsaugende Papier vertritt die Stelle des flüssigen Leiters. Diese Säulen zeigen fast nur mechanische Wirkungen. Die physiologischen, chemischen Wirkungen u. s. w. sind entweder äußerst schwach oder ganz unmerklich. Bohnenberger hat diese Säule zur Construction

eines äußerst empfindlichen Electroscops benutzt, welches sich vorzüglich zur sicheren Anstellung des Volta'schen Fundamentalversuchs eignet. Nach der von Fechner vorgeschlagenen Vereinfachung befindet sich eine Zamboni'sche Säule (Fig. 144), welche in eine Glasröhre eingeschlossen ist, in horizontaler Lage unter einer gläsernen Glocke, welche dazu dient, den Luftzug abzuhalten. Von den Polen der Säule gehen zwei Drähte, a und b, aus, welche sich in zwei einander gegenüberstehende Metallplatten endigen. Zwischen diesen hängt an einem die Glasglocke durchbohrenden Metallstäbchen, welches oben eine metallene Platte trägt, ein schmales Goldblättchen in der Mitte herab, welches, da es von beiden Polplatten ziemlich gleich stark angezogen wird, in Ruhe bleibt. So wie man aber der oberen Metallplatte einen auch nur schwach electrisirten Körper nähert oder mit derselben in Berührung bringt, so wird das Blättchen, auf welches bis dahin beide Pole gleich stark anziehend wirkten, von dem einen abgestoßen und von dem andern angezogen und zeigt durch seinen Ausschlag die Electricität des zu prüfenden Körpers an.

(Fig. 144.)



§. 145. Physiologische Wirkungen des galvanischen Stroms.

Nachdem wir im Vorhergehenden die gebräuchlichsten Einrichtungen der galvanischen, einfachen oder zusammengesetzten Kette kennen gelernt haben, wenden wir uns nun zu den höchst mannigfaltigen Wirkungen dieses wichtigen Apparates. Wir theilen diese in physiologische Wirkungen, in Erregung von Licht und Wärme, in chemische und in magnetische Wirkungen ein. Wir beginnen mit den physiologischen Wirkungen, welche ja auch zuerst zur Entdeckung dieser Art von Electricitätserregung geführt haben.

Wenn man die Pole (oder Poldrähte) einer aus zahlreichen Plattenpaaren bestehenden Volta'schen Säule mit den angefeuchteten Fingern berührt, so empfindet man eine Erschütterung; bleibt man in fester Verbindung mit den Polen, so fühlt man nur an etwa verwundeten Stellen einen stechenden Schmerz; sonst hört bei schwachen Säulen alle Empfindung auf, bei stärkern stellt sich ein brennendes Gefühl ein. Die Erschütterung kehrt wieder, wenn man die Säule öffnet. (Sie wird stärker empfunden, wenn die Poldrähte sich in größere Metallstücke enden, welche man mit den Händen anfaßt, oder wenn man die Poldrähte in zwei Gefäße mit gesäuertem Wasser leitet und hierein die Hände taucht. Diese Verstärkung beruht darauf, daß die Haut ein schlechter Leiter ist, und die Vermehrung der Berührungspunkte dem electrischen Strome den Uebergang in den menschlichen Körper erleichtert.)

Bringt man den einen Poldraht einer einfachen oder aus wenigen Elementen bestehenden Kette — bei zahlreichen Elementen würde die Wirkung zu heftig sein — in die Nähe des Auges, indem man mit demselben die Stirn oder Wange berührt, während man den andern Poldraht mit einem andern Theile des Körpers in Berührung bringt, z. B. mit der Hand anfaßt, so nimmt man beim Schließen und ebenso beim Oeffnen der Kette einen Lichtschein wahr.

Bringt man die Zunge mit dem positiven oder negativen Poldrahte in Berührung, so hat man in dem einen Falle einen sauern, im anderen einen eigenthümlichen Geschmack, welcher gewöhnlich als laugenartig bezeichnet wird.

Führt man den einen Poldraht einer aus zahlreichen Elementen bestehenden Batterie ins Ohr, während man den andern mit den angefeuchteten Fingern berührt, so hört man ein eigenthümliches Geräusch.

Auf den Geruchssinn scheint der galvanische Strom keine besondere Wirkung auszuüben.

Man kann die Einwirkung des galvanischen Stromes auf den Gesichts- und Geschmackssinn am einfachsten beobachten, wenn man das eine Ende eines silbernen Löffels mit dem innern Augenwinkel oder mit dem angefeuchteten Augenlide und das eine Ende eines Streifens Zinkblech mit der Zunge und dann beide Metalle mit einander in Berührung bringt, oder wenn man das Zink an das Auge und das Silber an die Zunge hält.

Die physiologischen Wirkungen einer galvanischen Batterie werden durch rasch auf einander folgendes Oeffnen und Schließen der Kette sehr gesteigert. Für diesen Zweck dient das von Neeff (1835) angegebene Blitzrad. Dieses besteht aus einer kupfernen Scheibe, welche am Rande rechteckige, mit Ebenholz ausgelegte Einschnitte hat und sich um eine metallene, mit dem einen Pole der Batterie zu verbindende Axe rasch herumdrehen läßt. Bei der Umdrehung der Scheibe kommt ein mit dem andern Pole in Verbindung stehender Kupferdraht bald mit dem Holze, bald mit dem Metall in Berührung. Schaltet man nun in diese Kette an irgend einer Stelle den menschlichen Körper ein, so können durch rasches Umdrehen der Scheibe auch bei einer nur aus wenigen Elementen bestehenden Batterie, welche für sich nur schwache physiologische Wirkungen giebt, die Erschütterungen bis zum Unerträglichen gesteigert werden.

Dasselbe kann auch, jedoch in unvollkommnerem Maaße, durch eine Holzfeile erreicht werden, welche man mit dem einen Poldraht verbindet, während man mit dem andern Poldrahte rasch über die Feile hin und her fährt.

§. 146. Galvanische Licht- und Wärme-Erscheinungen.

Wenn man die Poldrähte einer galvanischen Batterie mit einander in Berührung bringt, so erscheint ein heller Funken; derselbe zeigt sich ebenso beim Oeffnen der Kette. (Der Funken ist besonders lebhaft, wenn die sich berührenden Enden der Drähte amalgamirt sind, oder wenn man den einen Poldraht in Quecksilber getaucht hat und dann auch den andern Poldraht mit der Oberfläche dieses Metalles in Berührung bringt.)

Ein ungemein lebhaftes Licht, welches die Augen nicht zu ertragen vermögen, erhält man, wenn man den Strom einer kräftigen Batterie zwischen zwei aneinander genäherten Kohlenspitzen übergehen läßt*).

Läßt man den Strom einer wirksamen Kette durch einen dünnen Draht gehen, so erhitzt sich derselbe. Diese Erhitzung kann sich so weit steigern, daß der Draht glühend oder geschmolzen wird. (Der Versuch gelingt um so leichter, je kürzer und dünner der Draht ist.) — Dünnes Goldblatt, welches man zwischen die Poldrähte bringt, verflüchtet sich, indem zugleich lebhafte Funken von grünlicher Farbe sich zeigen.

Man benutzt die Erhitzung dünner Drähte durch einen electrischen Strom beim Sprengen von Felsen, um das hierzu dienende Pulver auf gefahrlose Weise aus weiter Ferne zu entzünden. In der hierzu bestimmten Patrone ist nehmlich ein feiner Draht angebracht und an seinen Enden mit zwei stärkern, hinreichend langen Drähten verbunden. Werden diese nun mit den

*) Man kann sich hierbei vortheilhaft des unten in §. 149 abgebildeten Apparates bedienen, indem man die Kohlenstücke mit Kupferdrähten umwickelt, deren Enden man zwischen den Klemmen f und g befestigt.

Polen einer Volta'schen Batterie in Verbindung gebracht, so wird beim Schließen der Kette der feine Draht glühend und entzündet das Pulver. — Eben so macht man hiervon Gebrauch, um vermittelst Drähten, welche mit einem isolirenden Ueberzuge (Gutta-Percha) bikleidet sind, Pulver unter Wasser zu entzünden.

Der electrische Funke zeigt sich selbst bei kräftigen Batterieen erst dann, wenn die Poldrähte einander bis auf einen äußerst kleinen Abstand genähert werden. Es ist dieß eine Folge der geringen Spannung der Electricität an den Polen der Batterie. Jacobi fand durch genaue Messung, daß bei einer Batterie von 12 Zink-Platinpaaren die Pole bis auf 0,00005 Zoll genähert werden konnten, ohne daß sich ein Funke zeigte. Gassiot setzte eine Batterie aus 3520 sorgfältig isolirten und mit Regenwasser gefüllten Bechern, von denen jeder einen Zink- und einen Kupfercylinder enthielt, zusammen; im geöffneten Zustande zeigten die Pole derselben eine bedeutende Spannung; bei einer Annäherung der Pole auf 0,02 Zoll sprangen zwischen denselben während fünf Wochen beständig Funken über.

Nachdem die Poldrähte einmal in Berührung gebracht worden sind, findet die Entladung noch statt, wenn man dieselben allmählig etwas von einander entfernt. Es ist dieß eine Folge der in der Berührung erhitzten, oxydirten und nach der Trennung von dem einen zum andern Pol übergeführten feinen Metalltheilchen. Der Lichtbogen, welcher auf diese Art erzeugt wird, ist daher bei leicht oxydirbaren Metallen größer, als bei Platin oder Silber, und er ist zwischen Kohlenspitzen am größten wegen der geringen Cohäsion ihrer Theile. Auch bei der Erzeugung des Lichtbogens zwischen Kohlenspitzen werden dieselben einander erst bis zur Berührung genähert und dann bis zu einem angemessenen Abstande von einander entfernt. — Obschon der galvanische Lichtbogen das Drummond'sche Kalklicht an Intensität übertrifft, so stehen der praktischen Anwendung desselben die Kostspieligkeit und der Umstand entgegen, daß ein so intensives, auf einen Punkt concentrirtes Licht sich weniger zur Erleuchtung größerer Räume, als ein auf mehreren Stellen vertheiltes, mäßiges Licht eignet. Dagegen kann dasselbe mit Vortheil benutzt werden, wenn es darauf ankommt, wie bei manchen Theatereffecten, ein sehr starkes Licht auf kurze Zeit zu erzeugen.

Der galvanische Strom bietet auch das Mittel dar, die höchsten Hitzegrade zu erzeugen. Indem Despretz in Frankreich zwei Batterieen combinirte, von denen die eine aus 600 Bunsen'schen Elementen bestand, gelang es ihm, Kohle zu schmelzen und selbst zu verflüchtigen.

Nach Joule und Lenz ist die durch den electrischen Strom in einem Drahte entwickelte Wärmemenge dem Quadrate der Stromstärke und dem Leitungswiderstande des Drahtes direct proportional.

Die zuerst von Grove gemachte Beobachtung, daß ein durch den electrischen Strom glühend gemachter Platindraht aufhört zu leuchten, wenn er in eine Atmosphäre von Wasserstoffgas gebracht wird, findet nach Clausius darin ihre Erklärung, daß erhitzte Körper in verschiedenen Gasen mit ungleicher Schnelligkeit, von allen Gasen am raschesten im Wasserstoffgase, erkalten.

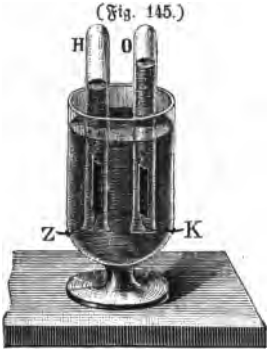
Zur Entzündung des Pulvers bei Minen können auch die inducirten Ströme gebraucht werden. In neuerer Zeit hat man für diesen Zweck auch die Maschinen-Electricität mit Vortheil benutzt.

§. 147. Chemische Wirkungen des galvanischen Stromes.

Der galvanische Strom bietet eins der kräftigsten Mittel dar, die chemisch zusammengesetzten Körper in ihre Bestandtheile zu zerlegen. Leitet man von jedem Pole einen Platindraht in Wasser, so wird dasselbe in seine Bestandtheile zerlegt, und zwar entwickelt sich am positiven Poldrahte das Sauerstoffgas, am negativen das Wasserstoffgas. Fängt man diese Gase besonders auf, indem man durch den Boden eines mit Wasser gefüllten Gefäßes (Fig. 145) zwei Drähte K und Z hindurchführt, über jeden ein ebenfalls mit Wasser gefülltes Gläschen stellt und die Drähte mit den Polen der Batterie verbindet, so erhält man in dem Gläschen H, in welches der negative Poldraht Z führt, dem Volumen nach doppelt soviel Wasserstoff, als in dem andern Gläschen O, in welches der positive

Poldraht Z führt, Sauerstoff. (Die Menge der erhaltenen Gase ist unter übrigens gleichen Umständen um so größer, je mehr man beide Drähte einander nähert, und je größer die Berührungsfläche ist, welche sie dem Wasser darbieten, weil dieses die Electricität weit weniger gut, als die Metalle fortleitet. Man wendet daher, wenn es sich darum handelt, möglichst viel Gas zu erhalten, statt der Platindrähte Platten von Platinblech an, welche man an die Poldrähte anlöthet. Die Gasmenge wird ferner vermehrt, wenn man dem zu zerlegenden Wasser etwas Säure zusetzt, indem hierdurch die Leitungsfähigkeit des Wassers vermehrt wird.) — Der Sauerstoff verbreitet, wenn er in größerer Menge entwickelt wird, einen Geruch nach Ozon. (Vergl. oben §. 85 u. §. 122.)

(Fig. 145.)



Besteht der Theil des positiven Poldrahtes, welcher in's Wasser taucht, aus einem unedlen Metalle, so erhält man kein freies Sauerstoffgas, sondern dasselbe verbindet sich mit dem unedlen Metalle, welches oxydirt wird. Durch den electrischen Strom können also nicht bloß zusammengesetzte Körper zerlegt, sondern auch chemische Verbindungen hervorgebracht werden.

So wie das Wasser, so lassen sich auch andere Oxyde durch den galvanischen Strom zerlegen; hierbei sammelt sich der Sauerstoff allemal am positiven, das Radical am negativen Pole.

Im Jahre 1807 gelang es Davy zuerst, die Alkalien und alkalischen Erden, welche bisher allen Zersetzungsversuchen auf chemischem Wege widerstanden hatten in ihre Bestandtheile zu zerlegen. Wenn man z. B. ein Stück angefeuchtetes Kali auf ein Silber- oder Platinblech legt, welches mit dem positiven Pole einer kräftigen Volta'schen Säule verbunden ist, und das Kali mit dem Silber- oder Platindrahte des negativen Poles berührt, so erscheinen sehr bald um den Draht kleine metallisch glänzende Kügelchen des Kalium-Metalles, welche sich jedoch in kurzer Zeit an der Luft wieder oxydiren. Taucht man dieselben in Wasser, so entsteht eine lebhafte Verbrennung, indem das Kalium sich mit dem Sauerstoff des Wassers verbindet. — (Wegen dieser großen Verwandtschaft des Kaliums zum Sauerstoffe kann man dasselbe nur unter Steinöl, welches aus Kohlenstoff und Wasserstoff besteht, aufbewahren.)

So wie die Sauerstoffverbindungen lassen sich auch andere zusammengesetzte Körper durch den electrischen Strom zerlegen; immer scheidet sich der eine Bestandtheil am positiven, der andere am negativen Pole aus; so tritt z. B. bei der Zerlegung der Salzsäure (Chlorwasserstoffsäure) das Chlor am positiven, der Wasserstoff am negativen Pole, bei der Zerlegung eines Salzes die Säure am positiven, die Base am negativen Pole auf. Besteht die letztere aus einem leicht reducirbaren Metalle, so erhält man an dem negativen Pole nicht das Oxyd desselben, sondern das reine Metall, während der Sauerstoff sich am positiven Pole entbindet. Leitet man z. B. die Poldrähte der Batterie in eine Kupfervitriollösung, so wird am negativen Pole reguliniſches Kupfer und am positiven Sauerstoff ausgeschieden, die Schwefelsäure aber bleibt in der Flüssigkeit aufgelöst.

Auch die so genannten Metallvegetationen gehören hierher. Taucht man in eine verdünnte Auflösung von essigsaurem Bleioxyd, Bleizucker*), einen Zinnstab, so scheidet sich wegen der größern Verwandtschaft des Zinks zum Sauerstoffe metallisches Blei aus. Das reducirte Blei, das Zink und die Flüssigkeit bilden nun eine galvanische Kette, und da das Blei in der Berührung mit Zink negativ, das Zink aber positiv electrisch wird, so findet die fortschreitende Reduction des Bleies nicht an dem Zink, sondern an den Spitzen des schon reducirten Bleies statt, an welches sich immer neue Schüppchen metallischen Bleies ansetzen und so den Bleibaum vergrößern.

Eben so wird aus einer Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd, wenn man in dieselbe einige Tropfen Queckstlber bringt, das Silber gefällt (Silber- oder Dianenbaum). Taucht man in eine (angesäuerte) Kupfervitriollösung ein blankes Stück Eisen, z. B. eine Messerklinge, so überzieht sich dasselbe mit einer Kupferschicht u. dgl. m. Im Allgemeinen werden überhaupt die mehr negativen Metalle durch die mehr positiven aus ihren Auflösungen ausgeschieden.

Chemisch reines (oder amalgamirtes) Zink wird von verdünnten Säuren gar nicht oder nur schwach angegriffen. Bringt man dasselbe aber mit einem electronegativen Metalle, Kupfer, Silber, Gold u. dgl. in Berührung, so oxydirt sich das Zink, während sich an dem negativen Metalle ein Strom von Wasserstoffgas entwickelt. — Taucht man Kupfer für sich allein in Salzwasser, so oxydirt sich dasselbe; verbindet man dasselbe aber mit einem Stück Zink, so oxydirt sich dieses, während das Kupfer unverändert bleibt.

Ueberhaupt kann man Metalle gegen die Oxydation dadurch schützen, daß man sie mit Metallen verbindet, durch welche sie kräftig negativ electrisch erregt werden. So sichert man stählerne Nadeln gegen den Rost durch Beimengung kleiner Stückchen Zink; die kupfernen Beschläge der Seeschiffe lassen sich nach Davy's Vorschlag durch an denselben befestigte Streifen von Zinn, Eisen oder Zink gegen den Rost schützen. — Eisen wird durch einen dünnen Ueberzug von Zink gegen den Rost geschützt. (Man nennt das verzinkte Eisen, weil seine größere Dauerhaftigkeit auf einem galvanischen Processe beruht, häufig galvanisirtes Eisen.)

Andererseits rostet Eisen, welches mit Kupfer in Berührung ist, leicht, wenn es naß wird. — Dachbedeckungen von Zink leiden sehr vom Roste, wenn die einzelnen Platten durch Nägel von Kupfer oder Eisen mit einander verbunden sind; man wendet daher besser Nägel von Zink an.

In bleiernen Wasserleitungen findet an den Stellen, wo dieselben mit Zinn zusammengelöthet sind, ein Niederschlag von Kalktheilen aus dem Wasser statt, welcher die Röhren verstopft u. dgl. m.

Um auf dem oben angegebenen Wege Kalium darzustellen, bedarf man sehr kräftiger Säulen. Man kann dasselbe jedoch auch durch schwächere Säulen erhalten, wenn man in das auf der Platinplatte ruhende Stück Kali eine kleine Höhlung macht und in dieselbe etwas Queckstlber bringt, in welches man den negativen Poldraht eintaucht. Das ausgeschiedene Kalium verbindet sich mit dem Queckstlber zu einem Amalgam.

Wenn man auf eine blanke Silberplatte einige Tropfen einer Auflösung von essigsaurem Kupferoxyd oder Bleioxyd bringt und in dieselbe ein zugespitztes Zinkstäbchen so eintaucht, daß die Spitze das Silber berührt, so schlägt sich das Kupfer oder Blei in farbigen Ringen auf der Silberplatte nieder. Man erhält diese Ringe, welche die

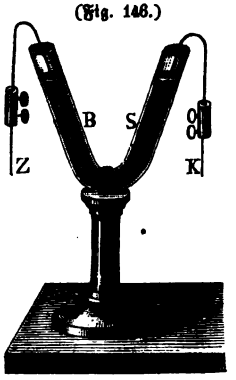
*) Eine angemessene Mischung ist 1 Quentchen Bleizucker, 24 Loth Wasser und ½ Quentchen concentrirter Essig.

Nobili'schen Farbenringe genannt werden, noch schöner, wenn man die Silberplatte mit dem negativen Pole einer 3—6gliedrigen galvanischen Kette verbindet und in die Flüssigkeit den positiven Poldraht so eintaucht, daß er das Silber nicht berührt. — Man bringt diese farbigen Ringe häufig zur Verschönerung auf kleinen messingenen Geräthschaften, Tischglocken, Fidibusbechern u. dgl. m. an, indem man dieselben in eine Auflösung von Bleioxyd in Aetzkalilauge, welche sich in einem bleiernen oder messingenen Gefäße befindet, taucht und die Geräthschaft mit dem negativen Pole, das metallene Gefäß mit dem positiven Pole einer etwa dreigliedrigen Daniell'schen Kette verbindet.

Wenn man in eine concentrirte Auflösung von Zinkchlorür, welcher man etwas Salzsäure zugesetzt hat, einen blanken Zinnstab stellt und auf die Auflösung vorsichtig Wasser fließen läßt, so beginnt sogleich die Reduction von metallischem Zinn, welches in schönen glänzenden Krystallen anschießt. Der Versuch fällt noch glänzender aus, wenn man in die Auflösung zwei Platindrähte taucht und dieselben mit den Polen einer galvanischen Batterie verbindet. Es findet dann sofort die Ausscheidung des Zinns in schönen großen Krystallblättchen an dem Platindrahte statt, welcher mit dem negativen Pole der Batterie verbunden ist. Vertauscht man die Poldrähte, so verschwinden diese Metallblättchen wieder rasch, um bald darauf an dem andern Platindrahte, welcher jetzt mit dem negativen Pole in Verbindung steht, zu erscheinen.

Die Zerlegung der Salze der Alkalien durch den galvanischen Strom, das Auftreten der Säure am positiven, der Base am negativen Pole, läßt sich in sehr anschaulicher Weise zeigen, wenn man eine Uförmig gebogene Röhre BS, Fig. 146, z. B. mit einer Auflösung von schwefelsaurem Natron (Glaubersalz) füllt, welche man durch einen Auszug von Veilchenblättern oder Rothkohl blau gefärbt hat. Taucht man in die beiden Schenkel dieser Röhren Platinbleche, welche man mit den Polen einer galvanischen Batterie verbindet, so färbt sich die Flüssigkeit in dem Schenkel S, welcher mit dem positiven Poldrahte K in Verbindung steht, durch die sich hier sammelnde Säure roth, in dem andern Schenkel B aber durch die hier auftretende Base grün. Vertauscht man die Poldrähte, so stellt sich zunächst die blaue Farbe der Flüssigkeit wieder her; bald aber tritt in dem Schenkel, welcher vorher roth gefärbt war, die grüne Färbung, in dem andern die rothe Färbung auf.

(Fig. 146.)



Bringt man in eine gesättigte Auflösung von Chlorammonium (salzsaures Ammoniak oder Salmiak), auf welche man etwas Terpentinöl gegossen hat, zwei Platinbleche, und verbindet dieselben mit den Polen einer kräftigen Batterie, (einer aus 6—8 Elementen bestehenden Bunsen'schen Kette), so entwickelt sich am negativen Pole Wasserstoff; am positiven aber bildet sich eine flüssige Verbindung von Chlor und Stickstoff in Form von kleinen Tropfen, welche, (wenn das Platinblech des positiven Poles etwas schief geneigt ist,) in der Flüssigkeit emporsteigen und bei der Berührung mit dem Terpentinöl mit Lebhaftigkeit explodiren.

Wie Faraday zuerst gezeigt hat, werden durch den nehmlichen galvanischen Strom oder durch Ströme von gleicher Stärke in gleichen Zeiten immer gleich viele Atome zusammengesetzter Körper, durch welche der Strom hindurchgeht, zerlegt, wie verschiedenartig diese Körper auch sein mögen. Wenn man z. B. einen electrischen Strom durch eine mit Wasser und durch eine andere mit geschmolzenem Chlorsilber gefüllte Zelle leitet, so werden in der ersten Zelle eben so viele Atome Wasser, als in der anderen Chlorsilber zerlegt.

Das angeführte electrolytische Gesetz gilt zunächst für binäre Verbindungen; für Verbindungen anderer Art erleidet dasselbe verschiedene Modificationen, auf welche wir jedoch hier nicht näher eingehen können. — Vergl. Magnus in Pogg. Ann. Bd. 102 u. 104.

Bei der Zerlegung des Wassers bemerkt man nur an den Poldrähten oder Platten selbst Gasentwickelung, in der übrigen Wassermasse wird, auch wenn die Drähte oder Platten weit von einander abstehen, kein Gasstrom wahrgenommen; man kann nun fragen: wie gelangt der Sauerstoff an den positiven, der Wasserstoff an den negativen Pol, ohne daß eine Gasströmung von einem Pole zum andern sichtbar wird? — Grotthuß hat von dieser merkwürdigen Erscheinung nach der electrochemischen Theorie

folgende Erklärung gegeben: In den den positiven Pol zunächst berührenden Wassertheilchen wird der electronegative Sauerstoff angezogen und der electropositive Wasserstoff abgestoßen, welcher sich sogleich mit dem electronegativen Sauerstoff der nächstfolgenden Wassertheilchen vereinigt, wodurch wieder Wasserstoff entbunden wird, welcher sich mit dem Sauerstoff der folgenden Wassertheilchen verbindet, und so fort bis zu dem negativen Pole hin, welcher den entbundenen Wasserstoff anzieht.

Die Menge des zwischen den Polplatten zerlegten Wassers kann zugleich als Maaß für die Menge der in Bewegung gesetzten Electricität benutzt werden. (Voltameter.)

Endlich führen wir noch an, daß auch durch Maschinenelectricität sich schwache chemische Wirkungen hervorbringen lassen, ins Besondere das Wasser in seine Bestandtheile zerlegt werden kann. Man taucht zu diesem Zwecke zwei feine Platindrähte, welche man in enge gläserne Röhren, Thermometerröhren, eingeschlossen hat, — ohne diese Vorsicht würden die sich nur in geringer Menge entbindenden Gase sofort von der Flüssigkeit absorbirt werden, — in das zu zerlegende Wasser und verbindet den einen Draht mit dem Conductor, den andern mit dem Reibzeuge einer wirksamen Electrisirmaschine. — Die deutlichsten Resultate erhält man mit der oben in §. 121 beschriebenen Hydroelectrisirmaschine.

§. 148. Galvanische Vergoldung und Galvanoplastik.

Diese nützlichen Anwendungen der galvanischen Electricität beruhen im Wesentlichen auf der Eigenschaft des electrischen Stromes, Metalle aus ihren Auflösungen, durch welche derselbe geführt wird, am negativen Pole zu reduciren.

Die galvanische Vergoldung besteht im Wesentlichen in Folgendem: Der zu vergoldende Gegenstand, z. B. ein silberner Löffel, wird in eine verdünnte Goldauflösung*), welche sich in einem porzellanen oder gläsernen Gefäße befindet, gelegt, durch einen Platindraht mit dem negativen Pole einer constanten galvanischen Batterie verbunden, und der positive Poldraht ebenfalls in die Flüssigkeit an irgend einer Stelle eingetaucht, doch ohne den Löffel zu berühren, welcher sich bald mit einer dünnen Goldschicht überzieht. — Verbindet man mit dem in die Flüssigkeit eingetauchten Ende des positiven Golddrahtes ein Stück feinen Goldes (einen Ducaten), so wird von diesem so viel aufgelöst, als am negativen Pole reducirt wird, so daß also der Goldgehalt der Flüssigkeit unverändert bleibt.

In ähnlicher Art kann man auch Metalle versilbern, verkupfern u. dgl. m. Man sieht leicht ein, daß man für diese Zwecke keines Stromes von großer Stärke, aber von möglichst constanter Wirkung bedarf.

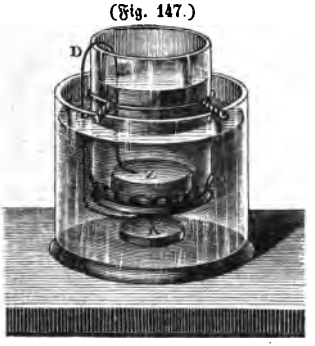
Unter der Galvanoplastik versteht man die Kunst, Nachbildungen von Münzen, gravirten Kupferplatten, Holzschnitten u. dgl. auf galvanischem Wege zu erhalten. Man verfertigt sich zunächst einen Abdruck des nachzubildenden Gegenstandes in einer die Electricität leitenden Substanz, z. B. in Blei oder in der leichtflüssigen Rose'schen Metalllegirung (s. unten §. 236), oder in Stearin oder in Gutta-Percha, welche man mit Graphit oder feiner Bronze überzieht u. dgl.; diese Form nun befestigt man an dem negativen Poldrahte einer schwachen, aber constanten galvanischen Batterie und taucht dieselbe in eine Auflösung von Kupfervitriol, in welcher der Form gegenüber, doch ohne dieselbe zu berühren, eine mit dem positiven Poldrahte verbundene Kupferplatte eingetaucht ist. Die Form bekleidet sich nun sehr bald mit einem Ueberzuge von reinem Kupfer, welcher nach wenigen Tagen eine solche Dicke erreicht, daß er sich ablösen läßt und eine sehr treue Nachbildung des Originals gewährt. — Das aus der Flüssigkeit niedergeschlagene Kupfer wird durch Auflösung von der mit dem positiven Pole verbundenen Kupferplatte wieder ersetzt.

*) Goldchlorid mit Cyankalium im Wasser.

Die ersten galvanischen Versuche sind fast gleichzeitig um's Jahr 1838 von Jacobi in Petersburg und Spencer in England angestellt worden.

Am einfachsten bedient man sich zu galvanoplastischen Nachbildungen kleinerer Gegenstände, wie Münzen, Medaillen u. dgl., einer Becquerel'schen Kette. In einem gläsernen Gefäße, welches die concentrirte und durch Leinwand geseihete Auflösung von Kupfervitriol enthält, befindet sich ein beiderseits offener gläserner Cylinder, (ein Lampencylider oder ein Zuckerglas, welchem man den Boden abgesprengt hat). Derselbe ist mit einem dicht anschließenden Drahte umwunden, welcher in drei Arme ausläuft, die auf dem äußeren Glase ruhen und den inneren Cylinder tragen. Dieser ist an seinem unteren Ende mit dünner Thierblase umbunden, welche die Stelle des porösen Thoncylinders vertritt, und mit sehr verdünnter Schwefelsäure (1 Theil concentrirter Schwefelsäure auf 50 Theile Wasser) angefüllt. Ein Kupferdraht ist so gebogen, wie Fig. 147 es zeigt. Dasjenige Ende desselben, welches sich in der Säure befindet, ist mit einer rundlichen Platte Z von (amalgamirtem*) Zink, welche nur um einen geringen Abstand von der thierischen Blase entfernt ist, fest verbunden, (am besten an dieselbe angelöthet;) an dem anderen Ende, welches sich in der Kupfervitriollösung befindet, ist die Form K befestigt. Man erhält diese am leichtesten, indem man die abzubildende und sorgfältig gereinigte Münze mit einem Rande von steifem Papiere umgiebt und mit einer Mischung von Stearin und Wachs übergießt, welche man zu gleichen Theilen in einem Löffel geschmolzen und mit etwas Schlemmkreide oder fein gepulvertem Bleiweiß vermengt hat. Den so erhaltenen Abdruck überzieht man nun noch mit Hülfe eines Pinsels, wie man ihn beim Tuschen gebraucht, mit einem Ueberzuge von fein geschlemmtem Graphit. Den Draht D befestigt man an die Form K so, daß er mit diesem Ueberzuge in unmittelbare Berührung kommt. Im Uebrigen überzieht man diesen Draht, so weit er in die Auflösung von Kupfervitriol taucht, mit Siegellack oder Wachs, weil ohne einen solchen isolirenden Ueberzug sich an demselben ebenfalls Kupfer reduciren würde. Auch setzt man der Kupfervitriollösung noch einige Stücke ungelösten Vitriols zu, um die Flüssigkeit beständig concentrirt zu erhalten. — Der auf der Form K sich bildende Niederschlag von Kupfer fällt schöner und reiner aus, wenn man etwa nach 24 Stunden den innern Cylinder nebst dem Drahte D aushebt, die Säure erneuert, das Zinkstück reinigt oder erneuert und die Kupfervitriollösung umrührt, auch wenn die Kupfervitriolkrystalle aufgelöst sind, einige neue hinzufügt. — Ohngefähr nach acht Tagen hat die Kupferablagerung auf der Form schon die Dicke einer Linie erreicht.

(Fig. 147.)



Man hat die Galvanoplastik besonders zur Vervielfältigung von gestochenen Kupferplatten und von Holzschnitten mit großem Nutzen angewendet. Man bringt die abzubildende Kupferplatte, nachdem man sie durch Einlegung derselben in eine Auflösung von Chlorsilber in Kochsalzauflösung versilbert hat, zunächst als Form in die Kupfervitriollösung, wodurch man natürlich eine Nachbildung erhält, auf welcher die Erhabenheiten der Originalplatte sich als Vertiefungen darstellen. Wendet man nun den so erhaltenen Kupferabdruck, nachdem derselbe ebenfalls versilbert worden, als Form an, so erhält man eine vollkommen treue, zum Abdruck geeignete Nachbildung der Originalplatte. — Holzschnitte werden in erweichte Gutta-Percha gepreßt; die so entstandene Form wird durch Ueberbürsten von pulverisirtem Graphit leitend und somit zur galvanischen Ablagerung geeignet gemacht**). Auch Büsten, Statuen u. dgl. werden aus Kupfer auf galvanoplastischem Wege hergestellt, indem man erst die einzelnen Theile derselben bildet und dieselben nachher verbindet.

Das einfachste Verfahren bei der galvanischen Vergoldung besteht darin, daß man eine Auflösung von einem Theile Chlorgold, 6 Theilen Cyankalium, 4 Theilen

*) S. oben §. 142.

**) Auch die diesem Buche beigefügten Figuren sind mit Benutzung von galvanoplastischen Kupferplatten abgedruckt worden, indem diese weit mehr Abdrücke, als die Holzschnitte selbst auszuhalten vermögen.

einfach kohlensaurem Kali und 6 Theilen Kochsalz in 50 Theilen Wasser in einem porzellanen Schälchen mäßig erwärmt, den zu vergoldenden Gegenstand hineinlegt und mit einem Zinkstäbchen berührt. Die zu vergoldenden Gegenstände müssen sorgfältig gereinigt sein, wenn die Vergoldung schön ausfallen soll. Es geschieht dieß, indem man dieselben erst mit Lauge, dann mit verdünnter Schwefelsäure wäscht und dann mit Weinsteinpulver überbürstet.

Zu bemerken ist, daß die Goldauflösung sehr giftig ist.

Die galvanische Vergoldung hat bei zweckmäßigem und sorgfältigem Verfahren gleiche Schönheit mit der Feuervergoldung, welche dagegen durch die Anwendung und Verflüchtigung von Quecksilber für die Gesundheit der Arbeiter sehr nachtheilig ist.

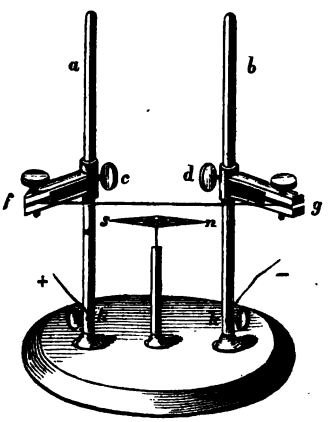
Ausführlichere Belehrung über die Galvanoplastik und galvanische Vergoldung gewähren die gesammten Naturwissenschaften. 2. Aufl. Bd. 1, S. 398 u. folg.

§. 149. Einwirkung des electrischen Stromes auf die Magnetnadel.

Wir haben schon oben (§. 143) auf die Aehnlichkeit einer isolirten, nicht geschlossenen Volta'schen Säule mit einem Magneten hingewiesen. Dennoch ist dieselbe in diesem Zustande auf die Magnetnadel ohne alle Wirkung. Diese Wirkung tritt erst ein, wenn die Säule geschlossen ist, und wurde zuerst von Oersted, Professor in Kopenhagen, im Jahre 1820 beobachtet. Da indeß die magnetischen Wirkungen weniger von der Anzahl, sondern fast ausschließlich von der Größe der Platten abhängen, (wenn der Schließungsdraht nicht sehr lang oder dünn ist,) so genügt zur Anstellung dieser Versuche eine einfache galvanische Kette.

Um die Einwirkung des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel bequemer beobachten zu können, ist es zweckmäßig, dem Schließungsdrahte eine feste Stellung zu geben. Hierzu dient die in Fig. 148 abgebildete einfache Vorrichtung: Auf einem Brettchen sind zwei messingene Stäbe a und b aufgerichtet, an welchen sich die Klemmen f und g vermittelst der Schrauben c und d beliebig höher und niedriger stellen lassen. Zwischen f und g wird ein Kupferdraht eingeklemmt und bei h und k werden die Poldrähte einer galvanischen Kette oder Batterie durch Klemmschrauben mit den metallenen Stäben a und b verbunden. Ist h mit dem positiven, k mit dem negativen Pole in Verbindung gebracht, so durchläuft der electrische Strom die metallenen Leiter des Apparates in der Richtung hcfgdk.

(Fig. 148.)



Wird der Apparat so aufgestellt, daß der Draht fg (ohngefähr) in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, (d. h. mit der Richtung der Declinationsnadel eine parallele Lage hat,) und wird dann in die Nähe desselben eine Magnetnadel ns aufgestellt, so erfährt dieselbe in dem Augenblicke, in welchem die Kette geschlossen wird eine Ablenkung; sie kehrt in ihre ursprüngliche Lage zurück, wenn man die Kette öffnet. Die Nadel wird seitwärts (rechts oder links) abgelenkt, wenn sich dieselbe unter oder über dem Drahte befindet. Die Ablenkung ist in dem einen Falle die ent-

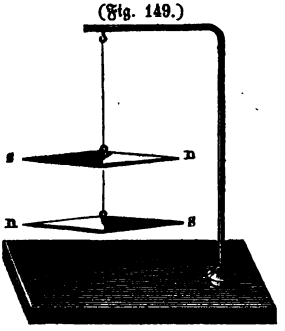
gegengesetzte von der im andern. Steht die Nadel in gleicher Höhe mit dem Drahte fg zur Seite neben demselben, so hebt sich das eine Ende derselben, das andere senkt sich, und auch hier werden entgegengesetzte Ablenkungen beobachtet, je nachdem sich die Nadel an der einen oder der andern Seite des Drahtes befindet. Vertauscht man die mit den Klemmschrauben h und k verbundenen Poldrähte und giebt also dem electrischen Strome in dem Drahte fg die entgegengesetzte Richtung, so zeigen sich jetzt in allen Fällen die entgegengesetzten Ablenkungen von denen, welche man vorher beobachtet hat.

Wir haben bisher noch nicht genauer bestimmt, nach welcher Seite das Nord- oder Südende der Nadel in jedem einzelnen Falle abgelenkt wird. Es ergiebt sich dies am bequemsten aus der folgenden von Ampère aufgestellten Regel: Man denke sich in den Schließungsbogen eine menschliche Figur eingeschaltet, so daß der positive Strom, (welcher vom Kupfer zum Zink geht,) sie von den Füßen nach dem Kopfe hin durchläuft, und das Gesicht der Figur gegen die Nadel hin gewendet ist, so wird das Nordende der Nadel allemal nach der linken, (das Südende nach der rechten) Hand abgelenkt.

Auch die Ablenkungen, welche die senkrechten Theile des Schließungsbogens ch und dk auf die Nadel ausüben, wenn der Nord- oder Südpol sich in der Nähe derselben befindet, erfolgen so, wie die angeführte Regel es anzeigt.

Auf eine in der Nähe eines electrischen Stromes befindliche Magnetnadel wirken zu gleicher Zeit zwei Kräfte, die ablenkende Kraft des Stromes und die Kraft des Erdmagnetismus, letztere in der Richtung von Norden nach Süden. Die Nadel wird daher nur in derjenigen Richtung ruhen können, welche der Resultirenden dieser beiden Kräfte entspricht. Will man erfahren, in welche Lage die alleinige Einwirkung des Stromes die Nadel zu versetzen strebt, so muß man die Einwirkung des Erdmagnetismus auf dieselbe aufheben. Hierzu gelangt man, wenn man zwei Magnetnadeln (Fig. 149) an einer Axe so mit einander fest verbindet, daß die gleichnamigen Pole entgegengesetzt liegen. Man nennt eine solche Vorrichtung, auf welche der Erdmagnetismus bei gleicher Stärke der Magnetnadeln ohne Wirkung ist, eine astatische Doppelnadel.

(Fig. 149.)



Führt man den electrischen Strom über der oberen oder unter der unteren Nadel nahe vorbei, so kommt die Doppelnadel nach einigen Schwankungen in einer Lage zur Ruhe, welche mit der Richtung des Stromes einen rechten Winkel bildet. — Ueberhaupt strebt der electrische Strom, jede in seiner Nähe befindliche Magnetnadel in eine solche Lage zu stellen, welche auf seiner eigenen Richtung senkrecht ist; und wenn eine einfache Nadel, nachdem sie zur Ruhe gekommen ist, mit der Richtung des Stromes einen schiefen Winkel bildet, so hat dieses, wie schon oben bemerkt, darin seinen Grund, daß dieselbe auch der Einwirkung des Erdmagnetismus unterworfen ist.

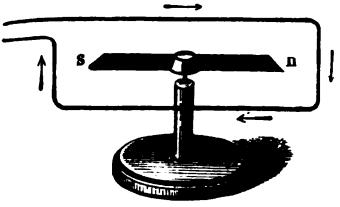
Da es kaum möglich ist, zwei Magnetnadeln von genau gleicher magnetischer Kraft herzustellen, so verhält sich auch die oben beschriebene Doppelnadel in der Regel nicht

vollkommen astatisch; d. h. die Einwirkung des Erdmagnetismus auf dieselbe ist nicht gänzlich aufgehoben, sondern nur auf ein sehr geringes Maaß herabgeführt. Es stellt sich daher auch die Doppelnadel nicht vollkommen senkrecht auf die Richtung eines neben derselben vorbeigeführten galvanischen Stromes, selbst wenn dieser eine beträchtliche Stärke hat, und sie wird durch schwache Ströme nur um einen mehr oder weniger großen Winkel abgelenkt. Dieß gewährt bei dem im folgenden §. zu beschreibenden Nobili'schen Galvanometer den Vortheil, daß derselbe nicht bloß dazu dienen kann, die Existenz schwacher Ströme nachzuweisen, sondern auch nach der Größe der durch dieselben bewirkten Ablenkung der Doppelnadel die Stärke dieser Ströme zu beurtheilen.

§. 150. Schweigger's Multiplicator.

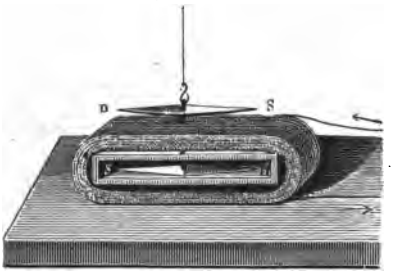
Wenn man über und unter einer Magnetnadel zwei electrische Ströme in derselben Richtung vorbeiführt, so streben dieselben, wie wir oben gesehen haben, die Nadel nach entgegengesetzten Richtungen zu drehen, und die Nadel wird folglich in Ruhe bleiben, wenn beide Ströme eine gleiche Stärke und gleichen Abstand von der Nadel haben. Wenn dagegen der unter der Nadel hergehende Strom die entgegengesetzte Richtung vom oberen hat, so streben beide die Nadel in demselben Sinne zu drehen, sie verstärken sich folglich gegenseitig in ihren Wirkungen auf die Magnetnadel. Dasselbe ist der Fall, wenn man den electrischen Strom um die Magnetnadel durch einen Draht, welchen man in die Form eines Rechteckes, Fig. 150, gebogen hat, herumleitet, wo, wie man aus der Ampère'schen Regel leicht ersieht, alle Seiten des Rechteckes, für welche die der Figur beigesetzten Pfeile die Richtung des Stromes anzeigen, die Nadel in demselben Sinne zu drehen streben.

(Fig. 150.)



Auf diesem Principe beruht der von Schweigger, Professor in Halle, bald nach Oersted's Entdeckung (1820) angegebene Multiplicator oder Galvanometer, bei welchem ein Kupferdraht um die Magnetnadel in wiederholten Windungen herumläuft, welche, wenn die Enden dieses Drahtes mit den Polen einer galvanischen Batterie verbunden werden, sämmtlich die Nadel in demselben Sinne zu drehen streben und daher eine stärkere Wirkung, als ein einfacher, neben der Nadel vorbeigeführter Draht hervorbringen. Da die Windungen des Multiplicatordrahtes sich nirgends berühren dürfen, so wendet man gewöhnlich Kupferdraht an, welcher mit Seide übersponnen ist, um die einzelnen, dicht neben einander herlaufenden Windungen gegenseitig zu isoliren.

(Fig. 151.)



Eben so begreift man leicht, daß die Empfindlichkeit des Multiplicators noch erhöht wird, wenn man statt einer einfachen, eine astatische Doppelnadel, Fig. 151, anwendet, (wie dies zuerst von Nobili geschehen ist,) und so die Einwirkung des Erdmagnetismus beseitigt. Die eine Nadel befindet sich innerhalb, die andere oberhalb der Windungen des Multiplicatordrahtes, so daß

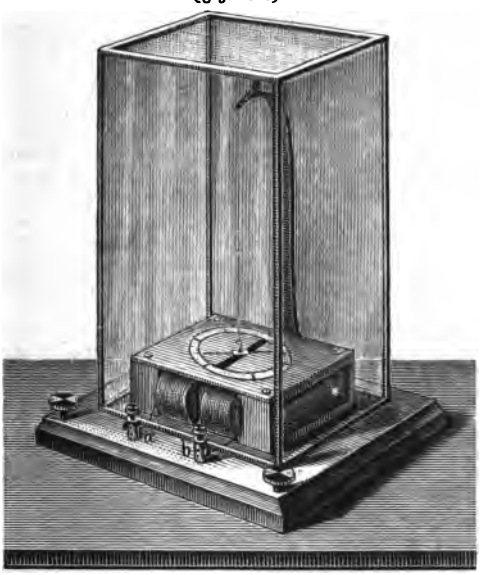
also beide Nadeln von einem den Draht durchlaufenden Strome in gleichem Sinne sollicitirt werden.

Auch der Entladungsstrom der electrischen Flasche vermag die Multiplicatornadel abzulenken. Da jedoch die Dauer dieses Stromes nur momentan ist, so muß man den Entladungsstrom der Flasche durch Einschaltung eines schlechteren Leiters, z. B. eines angefeuchteten Bindfadens, verzögern.

Der Multiplicator eignet sich vorzüglich dazu, sehr schwache electrische Ströme nachzuweisen und kann überhaupt als das empfindlichste Electroscop angesehen werden. In der That hat auch die Benutzung der Magnetnadel als Electroscop sehr bald zur Auffindung bis dahin unbekannter electrischer Ströme oder zur richtigeren Würdigung schon früher bekannter Erscheinungen geführt, wie wir in den folgenden Paragraphen ausführlicher zeigen werden. Aber auch außerdem findet das Prinzip des Multiplicators bei verschiedenen electromagnetischen Vorrichtungen, um die Wirkung zu verstärken, mannichfaltige Anwendung, (z. B. bei der Magnetisirung des Eisens oder Stahles durch den electrischen Strom.)

Da mit der Länge eines Drahtes, wie wir weiter unten zeigen werden, auch der Leitungswiderstand wächst, welchen derselbe dem Durchgange des galvanischen Stromes entgegenstellt, so erleidet dieser durch Einschaltung des Multiplicatordrahtes in den Schließungsbogen eine um so größere Schwächung, je länger der Draht ist. Man wird daher durch die vermehrte Zahl der Windungen des Multiplicatordrahtes die Einwirkung auf die Magnetnadel zwar verstärken, aber nicht in gleichem Verhältnisse mit der Zahl der Windungen vervielfältigen können.

(Fig. 152.)



Einen besonders empfindlichen Galvanometer stellt Fig. 152 dar. Eine astatische Doppelnadel ist an einem einfachen Coconfaden aufgehängt. Die obere Magnetnadel spielt über einem eingetheilten Kreise; die untere befindet sich innerhalb der Windungen des Multiplicatordrahtes, dessen Enden mit zwei Klemmschrauben a und b verbunden sind, an denen die Poldrähte der galvanischen Kette befestigt werden.

Unter den Erscheinungen, welche man schon früher im Allgemeinen kannte, über welche aber erst Versuche mit der Magnetnadel bestimmtere Aufschlüsse gegeben haben, führen wir hier die folgenden an:

Wenn zwei Metalle in eine Flüssigkeit eingetaucht oder durch eine eingeschaltete Flüssigkeit verbunden sind, welche durch den electrischen Strom zersetzt wird, und man läßt durch die Metalle und die Flüssigkeit einige Zeit einen electrischen Strom hindurchgehen, so zeigen die Metalle, so wie auch die Flüssigkeit, nachdem man die Verbindung derselben mit der galvanischen Kette oder Batterie aufgehoben hat, eine Zeit lang die Fähigkeit, einen Strom in der entgegengesetzten Richtung hervorzurufen. Taucht man z. B. in jeden Schenkel einer Uförmigen, mit gesäuertem Wasser gefüllten Röhre einen Platindraht, verbindet diese Drähte mit einer galvanischen

Batterie, hebt dann, nachdem der electrische Strom einige Zeit durch die Drähte und die Flüssigkeit hindurchgegangen, die Verbindung der Drähte mit der Batterie auf und verbindet dieselben dagegen mit den Drähten eines Multiplicators, so erleidet die Nadel desselben eine Ablenkung und zeigt einen Strom an, welcher die entgegengesetzte Richtung des ursprünglich durch die Platindrähte und die Flüssigkeit geleiteten Stromes hat. Dieselbe, etwas schwächere Wirkung findet statt, wenn man die beiden Platindrähte aus der Flüssigkeit herausnimmt und in diese die Multiplicatordrähte unmittelbar eintaucht, oder wenn man die Platindrähte in eine der angewendeten gleiche Flüssigkeit, durch welche jedoch kein electrischer Strom hindurchgegangen ist, eintaucht und mit den Multiplicatordrähten verbindet. Man ersieht hieraus, daß sowohl die Drähte, als auch die Flüssigkeit, durch welche ein electrischer Strom hindurch gegangen ist, das Vermögen erlangt haben, einen Strom in der entgegengesetzten Richtung hervorzurufen. Sie verlieren jedoch diese Fähigkeit nach einiger Zeit wieder. Man nennt diese Erscheinung die electrische Polarisirung und erklärt dieselbe dadurch, daß die Bestandtheile der zerlegten Flüssigkeit, z. B. Wasserstoff und Sauerstoff, theils in dieser verbreitet, theils an den Poldrähten haften bleiben, aber nach Unterbrechung des electrischen Stromes, welcher dieselben trennte, sich wieder vereinigen, wodurch denn (nach der electrochemischen Ansicht) ein Strom in der entgegengesetzten Richtung entstehen muß.

Da die sämmtlichen Glieder einer geschlossenen Kette oder Batterie sowohl die Metalle, als die Flüssigkeit zwischen je zwei Metallplatten, diese Polarisirung erleiden, welche einen dem Hauptstrome entgegengesetzten Strom veranlaßt, so muß der Hauptstrom theils durch diesen, theils durch den vermehrten Leitungswiderstand, welchen derselbe an dem mit einer dünnen Schicht von Wasserstoffgas bekleideten negativen Metalle erfährt, eine Schwächung erleiden. Der electrische Strom zeigt daher unmittelbar nach der Schließung die stärkste Wirksamkeit und nimmt in Folge der Polarisirung der einzelnen Glieder rasch ab. Wird der Hauptstrom unterbrochen, so hört auch die Polarisirung allmählig auf oder vermindert sich, und die Säule zeigt nun bei abermaliger Schließung wieder lebhaftere Wirkungen. Die größere Beständigkeit des Stromes bei den sogenannten constanten Ketten beruht, wie wir oben im §. 146 gezeigt haben, darauf, daß die Polarisirung bei denselben möglichst vermieden wird. Ein anderer Umstand, welcher jedoch auch bei diesen eine Schwächung des Stromes bewirkt, besteht darin, daß das positive Metall, Zink, sich mit einer Schicht von mehr electronegativem Zinkoxyd bekleidet.

Die Polarisation ist auch der Grund, warum eine einfache Kette für gewöhnlich nicht ausreicht, um das Wasser, in welches man die Poldrähte taucht, zu zerlegen.

Eine galvanische Kette kann auch durch zwei Flüssigkeiten, welche chemisch auf einander wirken, und einen festen Leiter gebildet werden. Wenn man in zwei Gläschen, von denen das eine die Auflösung eines Alkali, das andere eine Säure enthält, die Enden des Multiplicatordrahtes taucht, ferner beide Flüssigkeiten durch einen Asbeststreifen verbindet, in welchem dieselben durch die Capillaranziehung emporsteigen, so wird die Magnetnadel abgelenkt, so wie sich die Flüssigkeiten mit einander vermischen.

In neuerer Zeit ist es Grove gelungen, sogar aus zwei Gasen, z. B. Sauerstoff und Wasserstoff, in Verbindung mit Platin eine galvanische Batterie zu construiren.

*§. 151. Thermoelectrische Ketten.

Die electrischen Ströme, von denen in den vorhergehenden Paragraphen die Rede gewesen ist, wurden durch die Berührung verschiedenartiger fester und flüssiger Leiter, welche zugleich chemisch aufeinander einwirkten, erzeugt. Im Jahre 1821 gelangte Seebeck in Berlin durch den Multiplicator zur Entdeckung solcher electrischen Ströme, welche durch die Wärme hervorgerufen werden.

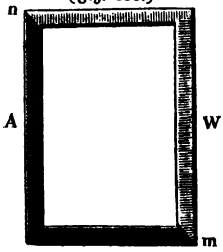
Wenn man das eine freie Ende eines kupfernen Multiplicatordrahtes stark (bis zum Rothglühen) erhitzt und dann mit dem anderen Ende in Berührung bringt, so erleidet die Magnetnadel eine Ablenkung. Dasselbe ist der Fall, wenn man zwei Drähte eines andern Metalles mit den beiden Enden des Multiplicatordrahtes verbindet, den einen Draht erhitzt und hierauf an den andern kalten Draht andrückt. Die Stärke und Richtung des electrischen Stromes ist jedoch für verschiedene Metalle ver-

schieden. Die Magnetnadel wird stärker abgelenkt, wenn man in der angegebenen Art nicht zwei Drähte von demselben, sondern von verschiedenen Metallen, z. B. einen Eisendraht und einen Platin- oder Neusilberdraht mit einander verbindet.

Besonders starke Wirkungen erhält man, wenn man zwei verschiedenartige Metalle zusammenlöthet, dann jedes mit einem Ende des Multiplicatordrahtes verbindet und die Lötheſtelle entweder erwärmt oder merklich erkältet. Die Ablenkung ist im letzteren Falle die entgegengesetzte von der, welche bei der Erwärmung eintritt. Den stärksten thermoelectrischen Strom geben in dieser Verbindung unter übrigens gleichen Umständen Antimon und Wismuth. Ueberhaupt lassen sich alle Metalle in eine Reihe ordnen, in welcher ein vorhergehendes in der Verbinduug mit einem folgenden einen um so kräftigeren Strom erzeugt, je weiter es von demselben in dieser Reihe absteht. Die äußersten Glieder dieser Reihe sind, wie gesagt, Antimon und Wismuth.

Bei zwei Metallen, welche in der thermoelectrischen Reihe weit von einander abstehen, bedarf man, um das Entstehen eines electrischen Stromes durch Erwärmung oder Erkältung nachzuweisen, nicht einmal des Multiplicators, sondern nur einer einfachen empfindlichen Magnetnadel. Zu diesem Zwecke verbindet man z. B. zwei Stäbe aus Antimon und Wismuth zu der Form eines Rechteckes, wie dieß Fig. 153 darstellt, und löthet sie an ihren Enden in m und n zusammen. Wenn man nun dieses Rechteck mit einer Seite über eine empfindliche Magnetnadel hält, und eine der Löthstellen allmählich erwärmt, während die Temperatur der andern Löthstelle dieselbe bleibt, so fängt die Magnetnadel an, sich nach einer Seite zu bewegen; die Ablenkung derselben wächst, so wie die Temperatur der Löthstelle zunimmt; die Nadel kehrt dagegen allmählich zu ihrer normalen Lage zurück, wenn die Temperatur der erwähnten Löthstelle sinkt. Wenn man die nehmliche Löthstelle nicht erwärmt, sondern merklich abkühlt, so wird die Nadel ebenfalls, aber nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt. Der electrische Strom geht in der wärmeren Löthstelle vom Wismuth zum Antimon, (also gegen das Alphabet von W nach A,) in der kälteren vom Antimon zum Wismuth, (also mit dem Alphabet von A nach W,) und ist um so stärker, je größer die Temperaturbifferenz beider Löthstellen ist. Man wird also einen besonders kräftigen Strom erregen, wenn man die eine Löthstelle erwärmt und zugleich die andere erkältet.

(Fig. 153.)



Auch einfache Metallstangen vermögen, an der einen oder andern Stelle erwärmt, eine Ablenkung der Magnetnadel zu bewirken. Besonders deutlich zeigen Stangen von Antimon diese Erscheinung.

Wir haben oben (§. 132) gesehen, daß verschiedene krystallisirte Mineralien, besonders der Turmalin, bei der Erwärmung entgegengesetzt electrisch werden. Eben so geben auch diejenigen Metalle, welche sich durch ein krystallinisches Gefüge am meisten auszeichnen, wie Antimon und Wismuth, die wirksamsten thermoelectrischen Ketten. In dem Turmalin dagegen verhindert das schlechte Leitungsvermögen die Bildung eines wirksamen Stromes.

Zu den Untersuchungen über thermoelectrische Ströme muß man einen Multiplicator anwenden, bei welchem ein starker Kupferdraht nur wenige Windungen macht.

Die thermoelectrische Reihe für Metalle ist folgende: Antimon, Eisen, Zink, Silber, Gold, Kupfer, Zinn, Blei, Platin, Neusilber, Wismuth. An der erwärmten Löthstelle geht bei mäßiger Erwärmung der positive Strom von dem in dieser Reihe später folgenden Metalle zu dem voranstehenden. — Einige Metalle zeigen jedoch bei höheren Temperaturen ein anderes Verhalten, als bei niederen. Der electrische Strom, welcher anfangs mit der Erwärmung der Löthstelle zunahm, nimmt bei fortgesetzter Erwärmung wieder ab, wird Null und geht endlich in den entgegengesetzten über. — Es liegt schon hierin ein Grund, warum die von verschiedenen Physikern über die thermoelectrische Reihe angestellten Untersuchungen nicht genau mit einander übereinstimmen. — Das thermoelectrische Verhalten eines Metalles wird überdieß noch durch verschiedene andere Umstände bedingt, ob sich dasselbe im Zustande größerer oder geringerer Härte befindet, ferner bei krystallinischen Metallen, ob die Berührungsfläche den Spaltungsflächen parallel ist oder hiervon abweicht.

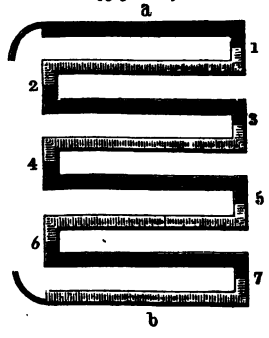
So wie wir oben gesehen haben, daß durch die Erwärmung oder Erkältung der Löthstelle zweier verschiedenartigen Metalle Ströme von entgegengesetzten Richtungen erzeugt werden, so wird umgekehrt, wie zuerst Peltier entdeckt und Quintus Icilius in Göttingen durch neuere Untersuchungen bestätigt hat, in der Löthstelle zweier verschiedenartigen Metalle, wenn durch dieselbe ein electrischer Strom hindurch geleitet wird, je nach der verschiedenen Richtung dieses Stromes entweder eine Erhöhung oder eine Erniedrigung der Temperatur hervorgerufen. Das Erste ist der Fall, wenn der Strom vom Antimon zum Wismuth, das Letzte, wenn derselbe vom Wismuth zum Antimon geht.

Diese entgegengesetzte Wirkung, welche Ströme von entgegengesetzter Richtung in der Temperatur der Löthstellen hervorbringen, zeigt sich jedoch direct nur bei Strömen von mäßiger Stärke, indem sehr kräftige Ströme auf die ganze Kette, durch welche sie hindurchgehen, erwärmend wirken und daher auch allemal die Temperatur der Löthstelle erhöhen.

*§. 152. Die thermoelectrische Säule.

Aus der Verknüpfung mehrerer thermoelectrischen Ketten entsteht die thermoelectrische Säule. Wenn man z. B. mehrere Stäbchen aus Antimon und Wismuth, wie dieses Fig. 154 zeigt, in abwechselnder Folge zusammenlöthet, die äußersten Glieder a und b mit den Drähten eines Multiplicators verbindet, hierauf eine oder mehrere Löthstellen erwärmt, doch so, daß zwei erwärmte Löthstellen immer durch eine solche getrennt sind, deren Temperatur dieselbe bleibt, so erleidet bei gleicher Temperaturerhöhung der erwärmten Löthstellen die Multiplicatornadel eine um so größere Ablenkung, je größer die Zahl der erwärmten Löthstellen ist. Die Stärke des entstandenen electrischen Stromes ist bei der nehmlichen Säule der Anzahl der in Thätigkeit gesetzten Elemente direct proportional.

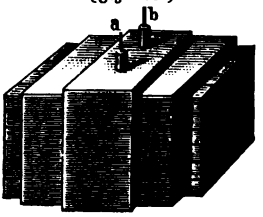
(Fig. 154.)



Nobili hat (1834) von der thermoelectrischen Säule eine äußerst nützliche Anwendung gemacht, um das empfindlichste aller bekannten Thermometer herzustellen. Zu diesem Zwecke werden etwa 25 bis 30 feine Stäbchen aus Antimon und Wismuth auf die oben angegebene Art an den Enden zusammengelöthet und in einen Bündel (Fig. 155) so verbunden, daß alle paarigen Löthstellen an der einen, die unpaarigen an der andern Seite liegen. Die einzelnen Stäbchen dürfen sich nur an den Löthstellen berühren und sind im Uebrigen

durch Nichtleiter von einander getrennt. Das Ganze wird mit einer metallenen, gegen die Stäbchen gehörig isolirten Fassung umgeben, und an das erste Wismuthstäbchen und an das letzte Antimonstäbchen sind Drähte angelöthet, welche durch die elfenbeinernen Röhrchen a und b hindurchgehen und mit den Multiplicatordrähten verbunden werden. — Nähert man einer der beiden Seiten des Apparates die Hand, so bewirkt die Wärme derselben schon eine merkliche Ablenkung der Multiplicatornadel. Die Ablenkung ist die entgegengesetzte, wenn man die Hand der andern Seite nähert oder wenn man die erstere Seite irgend wie erkältet. — Weiter unten, in der Wärmlehre (§. 249 und 250), werden wir die wichtigen Entdeckungen kennen lernen, welche wir diesem Thermomultiplicator verdanken.

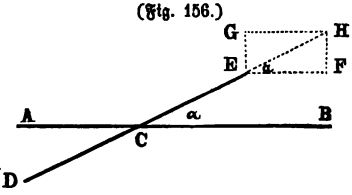
(Fig. 155.)



Eine in größerem Maaßstabe ausgeführte thermoelectrische Säule vermag nicht blos magnetische, sondern auch alle anderen Wirkungen einer schwachen Volta'schen Säule hervorzubringen.

Der Anwendung der Magnetnadel als Electroscop oder Electrometer verdanken wir nicht blos die Entdeckung früher unbekannter electrischer Ströme; sie bietet auch das geeignetste Mittel dar, um durch die Größe des Winkels, um welchen zwei electrische Ströme bei gleichem Abstande von der Magnetnadel dieselbe aus ihrer normalen Lage ablenken, die relative Stärke dieser Ströme abzumessen. Um dieses genauer zu übersehen, sei AB (Fig. 156) die Richtung des in der Ebene des magnetischen Meridians den Schließungsdraht durchlaufenden electrischen Stromes und DE die Richtung, in welcher die der gleichzeitigen Einwirkung des Stromes und des Erdmagnetismus unterworfene Magnetnadel zur Ruhe kommt; dann muß die Resultirende beider Kräfte, welche wir durch EH darstellen wollen, in dieser nehmlichen Richtung liegen und die Diagonale eines Parallelogramms EFHG bilden, in welchem die mit AB parallele Seite EF die Wirkung des Erdmagnetismus und die darauf senkrechte Seite EG die Wirkung des electrischen Stromes auf die Nadel ausdrückt. Bezeichnen wir nun die erstere Kraft mit R, die letztere mit S, so ist

(Fig. 156.)



$$S : R = EG : EF = FH : EF = \text{tang } \alpha,$$

also

$$S = R \text{ tang } \alpha.$$

Nehmen wir nun an, ein zweiter Strom, dessen Stärke wir mit S′ bezeichnen wollen, lenke bei gleichem Abstande von der Magnetnadel dieselbe um den Winkel α′ von ihrer normalen Lage ab, so ist

$$S' = R \text{ tang } \alpha',$$

und folglich

$$S : S' = \text{tang } \alpha : \text{tang } \alpha',$$

d. h. die Stärke zweier Ströme ist der Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Eine besondere zur Abmessung der Stärke electrischer Ströme bestimmte Vorrichtung führt daher den Namen Tangentenbousole; dieselbe besteht aus einem kreisförmig gebogenen Kupferstreifen CC Fig. 157, dessen Enden, ohne sich zu berühren, durch den Fuß N hindurchgehen und mit den Polen einer galvanischen Batterie verbunden werden. Die halbkreisförmige hölzerne Scheibe A trägt genau im Mittelpunkte des kupfernen Ringes eine kleine Bousole D. Man stellt dies Instrument so auf, daß die Ebene des Ringes in den magnetischen Meridian fällt. — Von der eben beschriebenen etwas verschieden ist eine andere Vorrichtung, welche den Namen Sinusbousole führt.

(Fig. 157.)

*§. 153. Das Ohm'sche Gesetz.

Durch die Abmessung der relativen Stärke electrischer Ströme mit Hülfe der Magnetnadel ergiebt sich das folgende Gesetz, welches zuerst Ohm in Erlangen 1827 aufgestellt und nachgewiesen hat:

Die Stärke des electrischen Stromes ist der electromotorischen Kraft der galvanischen Batterie direct und der Summe aus dem Leitungswiderstande, welchen der Strom in der Batterie und im Schließungsbogen erfährt, umgekehrt proportional.

Dieser Leitungswiderstand ist für verschiedene Stoffe sehr verschieden. Die am besten leitenden Metalle sind Silber und Kupfer. Dies ist der Grund, warum man zu den Poldrähten gewöhnlich Kupfer anwendet. Flüssigkeiten leiten weit schlechter als Metalle. Die Leitungsfähigkeit des Wassers wird durch den Zusatz einer Säure vermehrt. Bei dem nehmlichen Stoffe wächst der Leitungswiderstand in gleichem Verhältnisse mit der Länge und im umgekehrten mit dem Querdurchschnitte. Ein langer und dünner Draht leitet also schlechter, als ein kurzer und dicker.

Ist die Batterie durch einen kurzen und dicken Draht geschlossen, so erfährt der Strom den meisten Widerstand bei seinem Durchgange durch den flüssigen Leiter. Der Strom muß daher der Dicke der die Metallplatten trennenden flüssigen Schicht beinahe umgekehrt und der Größe der Berührungsfläche, also der Größe der Metallplatten direct proportional sein. Die Batterie liefert folglich einen um so stärkeren Strom, je größer der Durchmesser der Metallplatten ist, je dünner die dieselben trennende Wasserschicht ist und je besser die letztere die Electricität leitet. — Aus gleichen Gründen wird die Menge des durch die nehmliche Batterie zersetzten Wassers vermehrt, je größer die Polplatten sind und je weniger dieselben von einander abstehen.

Die electromotorische Kraft der einfachen Kette hängt natürlich von der electromotorischen Wirkung der einzelnen Glieder ab. Zink und Kohle oder Platin müssen also die stärkste Wirkung geben.

Die electromotorische Kraft der zusammengesetzten Kette oder Batterie wächst außerdem mit der Zahl der dieselbe zusammensetzenden Elemente. Da aber in gleichem Verhältnisse, wie wir gesehen haben, auch der Leitungswiderstand, welchen der Strom in der Batterie erfährt, zunimmt, so wird, wenn dieselbe durch einen nicht zu langen und nicht zu dünnen Draht geschlossen ist, wie dies z. B. meistens bei den electromagnetischen Versuchen der Fall ist, die Vermehrung der Plattenpaare keine erhebliche Verstärkung des Stromes bewirken können. Anders muß sich jedoch das Verhältniß stellen, wenn der Strom den bedeutendsten Widerstand in dem Schließungsbogen zu überwinden hat, wenn er, wie bei den chemischen Versuchen durch Flüssigkeiten, oder wie bei den physiologischen Versuchen durch den menschlichen Körper, oder wie bei den electrischen Telegraphen durch einen sehr langen Draht, oder wie bei den Glühversuchen durch einen sehr dünnen Draht hindurch geleitet wird. In allen diesen Fällen muß die Wirkung mit der Zahl der Plattenpaare zunehmen.

Bezeichnen wir die electromotorische Kraft jedes einzelnen Elementes (jeder einzelnen Kette) mit e, die Anzahl der Elemente der Batterie mit n, den Widerstand, welchen der Strom bei seinem Uebergange von einem Elemente zum andern erfährt, mit w und den Widerstand im Schließungsbogen mit W, so ist die electromotorische Kraft der Batterie ne, der Leitungswiderstand derselben nw und daher zu Folge des Ohm'schen Gesetzes die Stärke des electrischen Stromes

$$S = \frac{ne}{nw + W}.$$

Ist der Leitungswiderstand im Schließungsbogen in Vergleich gegen den Leitungswiderstand in der Batterie, also W gegen nw sehr groß, so werden wir annähernd

$$S = \frac{ne}{W}$$

setzen können. In diesem Falle ist also die Stromstärke der Zahl der Elemente n nahezu proportional, dagegen von dem Leitungswiderstande in der Batterie nw fast unabhängig, so daß hier durch die Vergrößerung der Platten ein erheblicher Gewinn nicht erzielt wird. Ist dagegen der Leitungswiderstand in dem Schließungsbogen W in Vergleich gegen den Leitungswiderstand in der Batterie nw sehr klein, so erhalten wir annähernd

$$S = \frac{ne}{nw} = \frac{e}{w}.$$

Die Stromstärke ist daher in diesem Falle von der Zahl der Elemente fast unabhängig, dagegen dem Leitungswiderstande der Kette w nahezu umgekehrt proportional. Es muß folglich dieselbe fast in demselben Verhältnisse zunehmen, in welchem der Leitungswiderstand in der Kette w verringert, also die Platten vergrößert oder einander genähert werden.

Nach dem Ohm'schen Gesetze läßt sich auch leicht beurtheilen, welche Einrichtung man in jedem besonderen Falle dem Multiplicator zu ertheilen hat. Da nehmlich die Stärke des electrischen Stromes (unter übrigens gleichen Umständen) der Summe aller Leitungswiderstände, welche der Strom auf seinem Umlaufe durch die galvanische Batterie und die verschiedenen Theile des Schließungsbogens zu überwinden hat, umgekehrt proportional ist, so wird in solchen Fällen, wo der electrische Strom in der Batterie selbst, wenn diese z. B. aus vielen Gliedern von einer kleinen Oberfläche besteht, oder in den übrigen Gliedern des Schließungsbogens, wenn dieser z. B. wie bei den electrischen Telegraphen sehr lang ist, schon ohnehin einen sehr bedeutenden Widerstand zu überwinden hat, die durch Einschaltung des Multiplicatordrahtes herbeigeführte Vermehrung des Leitungswiderstandes nur in einem kleinen Verhältnisse zu diesem Widerstande überhaupt stehen und daher nur eine geringe Verminderung der Stärke des electrischen Stromes herbeiführen. Man wird daher einen dünnen Draht mit vielen Windungen anwenden können. Wenn aber die galvanische Batterie nur aus wenigen oder einem einzigen Elemente besteht und der übrige Schließungsbogen durch einen kurzen und dicken Draht gebildet wird, so wird man auch für den Multiplicator einen dicken Draht mit wenigen Windungen anzuwenden haben. — Dieses Letztere gilt ganz besonders auch für die thermo-electrischen Ströme, da bei diesen sämmtliche Glieder der Kette oder Batterie aus Metallen bestehen, welche dem electrischen Strome nur einen geringen Leitungswiderstand entgegenstellen.

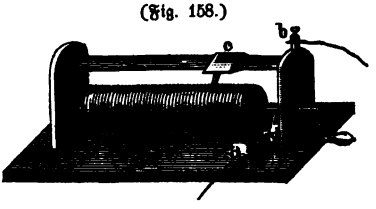
Die Anwendung der Ohm'schen Formel auf nicht constante Ketten wird durch die schwer in Rechnung zu bringende Schwächung, welche der Strom durch die Polarisation an den einzelnen Platten erleidet, erschwert. Bei den constanten Ketten übt die Polarisation ebenfalls einen die Stromstärke vermindernden Einfluß aus, wenn die Poldrähte in eine Flüssigkeit getaucht sind, in welcher Wasserzersetzung stattfindet.

Bezeichnet man die Leitungsfähigkeit des Kupfers mit 100, so ist nach Rieß bei gewöhnlicher Temperatur die des Silbers 149, Goldes 89, Messings 28, Eisens 18, Platins 16, Neusilbers 11, Bleies 10. — Wasser, welches ein 20000tel Salpetersäure enthält, leitet nach Pouillet 770millionenmal schlechter, als Kupfer; reines Wasser leitet noch schlechter.

Bei den Metallen wird das Leitungsvermögen durch Erhöhung der Temperatur vermindert, bei der Flüssigkeit dagegen vermehrt.

Für viele Untersuchungen ist es erforderlich, einen Strom von ganz bestimmter Stärke zu haben. Man gelangt hierzu, indem man einen kräftigeren Strom durch Einschaltung eines mehr oder weniger großen Leitungswiderstandes auf ein bestimmtes Maaß herabführt. Die hierzu dienenden Vorrichtungen, welche den Namen Rheostat führen, können eine sehr mannigfache Einrichtung haben. Einen einfachen Rheostaten stellt Fig. 158 dar. Auf eine hölzerne Walze, welche um eine eiserne Axe drehbar ist, ist ein Draht von Neusilber oder Kupfer, je nachdem man einen größeren oder geringeren Leitungswiderstand beabsichtigt, gewunden, und neben dem Cylinder in paralleler Richtung mit der Axe desselben ist ein metallener Stab befestigt, an welchem eine verschiebbare Hülse c angebracht ist. Eine mit dieser verbundene Feder schleift an den Windungen des Drahtes und bewirkt, daß die Hülse sich längs des metallenen Stabes verschiebt, wenn die Walze umgedreht wird. Eine andere Metallfeder

(Fig. 158.)



a drückt gegen die stählerne Umdrehungsaxe, an welcher das eine Ende des umgewundenen Drahtes befestigt ist. Wenn nun die Poldrähte einer galvanischen Kette mit den Klemmschrauben a und b verbunden werden, so geht der electrische Strom durch die zwischen a und c befindlichen Drahtwindungen, deren Länge sich durch Umdrehung der Walze nach der einen oder andern Seite beliebig vergrößern oder verringern läßt. In gleichem Verhältnisse aber mit der Länge der eingeschalteten Drahtwindungen, welche der Strom auf seinem Wege von a nach c zu durchlaufen hat, nimmt auch der Widerstand zu, welchen dieselben der Fortleitung des Stromes entgegensetzen.

Gelegentlich mag hier noch bemerkt werden, daß man den Leitern, durch welche ein galvanischer Strom geführt, auch den Namen Rheophor beilegt.

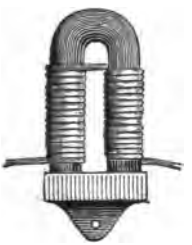
§. 154. Wirkung des electrischen Stromes auf unmagnetisches Eisen.

Der electrische Strom übt nicht blos auf eine Magnetnadel oder einen Magnetstab eine Wirkung aus, sondern vermag auch unmagnetisches Eisen magnetisch zu machen.

Wenn man einen hinreichend starken Strom durch einen Kupferdraht leitet und diesen in Eisenfeilicht taucht oder damit bestreut, so wird das Eisenfeilicht von dem Drahte angezogen. Diese Anziehung hört aber wieder auf, sobald man die Kette öffnet.

Eben so vermag man in unmagnetischen Eisenstäben durch die Einwirkung des electrischen Stromes Magnetismus hervorzurufen. Wir haben oben gesehen, daß ein electrischer Strom eine Magnetnadel in eine Richtung zu stellen strebt, welche auf der Richtung des Stromes senkrecht steht. In Uebereinstimmung hiermit werden Stahlnadeln magnetisirt, wenn man den Strom in senkrechter Richtung neben denselben vorbeileitet. Verstärkt wird die Wirkung durch Anwendung des Multiplicators, indem man den Strom in mehreren Windungen neben der Nadel oder um dieselbe herum führt. Ja man vermag durch den electrischen Strom und Anwendung dieses Princips Magnete herzustellen, welche alle anderen, künstlichen und natürlichen, Magnete an Tragkraft weit übertreffen. — Zu diesem Zwecke giebt man einem cylinderförmigen Stücke weichen Eisens, weil in diesem der Magnetismus am leichtesten erregt wird, die Gestalt eines Hufeisens und umwindet dasselbe mit einem starken, durch Seide gehörig isolirten Kupferdrahte, wie dieses Fig. 159 zeigt. Leitet man nun einen electrischen Strom durch den Draht, so erhalten die beiden Enden des Hufeisens entgegengesetzte Pole, (deren Lage sich leicht nach der oben §. 149 angegebenen Ampère'schen Regel im Voraus bestimmen läßt), und vermögen nun einen vorgelegten Anker und eine an denselben angehängte Last zu tragen. Man kann auf diese Art Magnete herstellen, welche tausend und mehr Pfund zu tragen vermögen. Ihre Tragkraft hört jedoch fast gänzlich wieder auf, so wie der electrische Strom unterbrochen wird. — Statt des Ankers kann man auch einen zweiten Electromagneten anwenden, welchen man mit den ungleichnamigen Polen an den ersten anhängt. Zwei auf diese Art verbundene, einander im Uebrigen gleiche Electromagnete tragen ohngefähr viermal so viel, als einer allein mit einem angelegten Anker.

(Fig. 159.)



Ueber die Kraft der Electromagneten sind zuerst von Jacobi und Lenz in Petersburg, später von Müller in Freiburg und in neuester Zeit (1853 bis 1858) von J. Dub in Berlin umfassende Untersuchungen angestellt worden. Dieselben haben das Gesetz ergeben, daß bei Strömen von mäßiger Stärke und nicht zu dünnen Eisenstäben (von mehr, als 1/3 Zoll Stärke) der erregte Magnetismus in gleichem Ver-

hältniß mit der Stärke des Stromes und der Zahl der Windungen zunimmt. Derselbe läßt sich jedoch nicht ins Unendliche steigern, sondern nähert sich bei dünnen Stäben früher, bei dicken später einem Maximum, welches indeß so fern liegt, daß sich bei den gewöhnlich angewandten Stromstärken und nicht zu dünnen Stäben noch keine Abweichung von dem angeführten Gesetze zeigt.

Da die Pole eines Electromagneten zugleich vertheilend auf den vorgelegten Anker einwirken und diesen selbst in einen Magneten mit entgegengesetzten Polen verwandeln, so ergiebt sich aus dem obigen Gesetze weiter der folgende, auch durch directe Versuche bestätigte Satz:

Die Tragkraft eines Electromagneten wächst wie das Quadrat der Stromstärke und wie das Quadrat der Anzahl der Windungen der umgebenden Spirale.

Da aber mit der Zahl der Windungen der Leitungswiderstand vermehrt, also die Stromstärke geschwächt wird, so muß, wenn diese dieselbe bleiben soll, ein Draht von so vielmal größerem Querdurchschnitte angewendet werden, als durch die vermehrte Zahl der Windungen sich die Länge desselben vergrößert hat.

Bei gleicher Stromstärke und gleicher Zahl der Windungen nimmt die Tragkraft eines Electromagneten in gleichem Verhältnisse mit dem Durchmesser des Eisenstabes, und wenn derselbe seiner ganzen Länge nach mit der nehmlichen Windungszahl bedeckt ist, auch in gleichem Verhältnisse mit der Länge (der erregte Magnetismus wie die Quadratwurzel aus dem Durchmesser und wie die Quadratwurzel aus der Länge) zu. Unter übrigens gleichen Umständen ist die Tragkraft des Electromagneten um so größer, je näher die Spiralwindungen den Polen angebracht sind. — Die Anziehungskraft der Polflächen ist stärker an den Kanten und nimmt nach der Mitte hin ab.

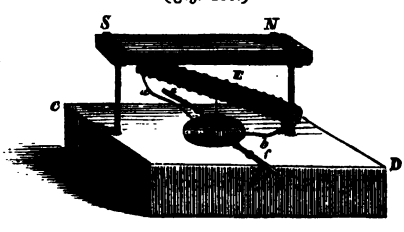
In dem Augenblicke, in welchem man einen Eisenstab durch einen starken Strom magnetisirt, vernimmt man einen Ton, welcher demjenigen Ton gleich ist, der entsteht, wenn man den Stab durch Reiben mit einem wollenen Lappen in der Richtung seiner Länge in longitudinale Schwingungen versetzt. Der nehmliche Ton wird auch beim Oeffnen der Kette wahrgenommen. — Man ersieht hieraus, daß das Eintreten und Verschwinden des electrischen Stromes von einer Erschütterung der materiellen Theile des Eisenstabes begleitet ist. — Dieselbe Erscheinung bringt auch der direct durch einen Eisenstab oder gespannten Draht geleitete Strom hervor.

In nahem Zusammenhange hiermit dürfte die von Wiedemann (1858) beobachtete Erscheinung stehn, daß der Magnetismus eines Stabes durch eine Drehung des Stabes nach der einen oder andern Seite hin eine Verminderung erfährt, und daß umgekehrt ein Eisendraht, welcher eine Drehung erfahren hat, eine Entdrehung erleidet, wenn er mit einer Magnetisirungsspirale umgeben und durch diese ein electrischer Strom in der einen oder in der entgegengesetzten Richtung geführt wird. Auf eine weitere Auseinandersetzung der von Wiedemann nachgewiesenen merkwürdigen Analogien, welche die Magnetisirung und Torsion eines Stahlstabes darbietet, können wir jedoch hier nicht eingehn, und verweisen wir dieserhalb auf Pogg. Ann. Bd. 106. S. 161.

Da die Electromagnete die Stahlmagnete bei Weitem an Stärke übertreffen, so werden dieselben bei den oben (§. 110) angeführten Versuchen über den Diamagnetismus vorzugsweise angewendet. — Auch kann man einen Electromagneten dazu benutzen, um Stahlstäbe durch Streichen an den Polen desselben zu magnetisiren.

Die große Kraft der Electromagnete hat vielfach Versuche veranlaßt, dieselben anstatt der Dampfkraft zur Bewegung von Maschinen zu benutzen. Schon im Jahre 1839 gelangte Jacobi in Petersburg dahin, in einem Boote, welches außer ihm noch 14 andere Personen trug und allein durch electromagnetische Kräfte bewegt wurde, die Newa zu befahren. Der allgemeinen Anwendung der electromagnetischen Maschinen steht jedoch der Umstand entgegen, daß der Verbrauch von Säuren und Zink bei denselben einen größeren Kostenaufwand verursacht, als der Verbrauch der Kohlen bei den Dampfmaschinen.

(Fig. 160.)



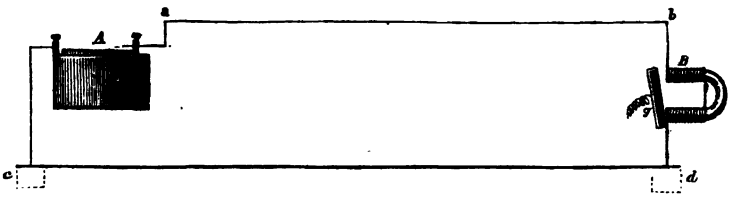
Um zu zeigen, wie sich durch die electromagnetische Kraft eine rotirende Bewegung hervorbringen läßt, kann der in Fig. 160 abgebildete einfache Apparat dienen. Derselbe besteht aus einem Stahlmagneten NS und einem Electromagneten E, welcher auf einer Spitze ruht, um welche sich derselbe leicht herumdrehen kann. In der Mitte des hölzernen Klötzchens CD, welches dem Apparate als

Unterlage dient, ist eine kreisförmige Rinne angebracht, welche durch eine niedrige und dem Stahlmagneten parallele Scheidewand in zwei Hälften getheilt wird. Jede der beiden hierdurch gebildeten Zellen wird mit Quecksilber so weit angefüllt, daß die convexen Oberflächen desselben, jedoch ohne in einander zu fließen, etwas höher stehen, als die Scheidewand, und die Enden a und b des den Electromagneten E umwindenden Drahtes sind so gebogen, daß sie die Oberfläche des Quecksilbers eben berühren, über die Scheidewand aber, ohne anzustoßen, bei der Umdrehung hinweg gleiten. In das Quecksilber der beiden Zellen tauchen zwei Drähte c und f, welche mit den Poldrähten einer galvanischen Kette verbunden werden können. Bei Schließung der Kette verwandelt sich der Eisenstab E in einen Electromagneten, dessen Pole von den gleichnamigen Polen des festen Stahlmagneten NS abgestoßen, von den ungleichnamigen angezogen werden. Der bewegliche Electromagnet dreht sich in Folge hiervon aus der in der Figur abgebildeten schiefen Stellung in eine dem Stahlmagneten und der Scheidewand parallele Lage. Indem derselbe aber vermöge des Trägheitsgesetzes diese Lage etwas überschreitet, kommen die Drahtenden mit den Oberflächen des Quecksilbers der entgegengesetzten Zellen in Berührung, die Pole des Electromagneten kehren sich um und derselbe dreht sich um 180°, überschreitet aus den angeführten Gründen diese Lage, wodurch seine Pole sich abermals umkehren und der Electromagnet wieder um 180° in der nehmlichen Richtung gedreht wird u. s. w. Jedesmal, wenn die Drahtspitzen das Quecksilber der einen Zelle verlassen und zu dem der anderen übergehen, erscheinen lebhafte Funken.

§. 155. Electrische Telegraphie.

Die Eigenschaft des electrischen Stromes, im weichen Eisen vorübergehenden Magnetismus hervorzurufen, findet eine sehr nützliche Anwendung in der Telegraphie. Die Einrichtung der gegenwärtig in Deutschland am meisten gebräuchlichen electrischen Telegraphen ist im Wesentlichen folgende: Um von dem Stationsorte A nach dem mehrere Meilen entfernten Stationsorte B hin zu telegraphiren, verbindet man beide Orte durch einen oder mehrere isolirte Drähte von Kupfer oder Eisen. Wir wollen zunächst annehmen, daß solcher Verbindungsdrähte zwei, ab und cd, Fig. 161, vorhanden sind. Wenn man nun die Enden dieser Drähte in B mit den Enden

(Fig. 161.)



eines um ein Hufeisen aus weichem Eisen gewundenen Kupferdrahtes und in A die Enden der nehmlichen Drähte mit den Polen einer galvanischen Batterie verbindet, so verwandelt sich fast in demselben Augenblicke, in welchem man in A die Kette schließt, das Hufeisen in B in einen Magneten und zieht einen Anker an, welcher vorher von den Polen durch eine schwache Feder um einen kleinen Abstand entfernt gehalten wurde. So wie man aber die Kette in A öffnet, wird der Anker durch die schwache Feder von den Polen des Hufeisens wieder losgerissen. Auf diese Art erhält man ein Mittel, durch wiederholtes Oeffnen und Schließen der Kette in A Signale nach B hin zu geben. — Statt zweier Verbindungsdrähte kann man auch mit einem einzigen Drahte ab auskommen, welcher den einen Pol der in A befindlichen Batterie mit dem einen Ende des um den Electromagneten in B gewickelten Kupferdrahtes verbindet, und den zweiten Draht cd durch den feuchten Erdboden ersetzen, indem man in diesen sowohl in A (etwa bei c der Figur),

als auch in B, (etwa bei d) eine Metallplatte einsenkt und mit der einen (c) den andern Pol der Batterie in A und mit der andern (d) das andere Ende des um den Electromagneten in B gewickelten Kupferdrahtes verbindet.

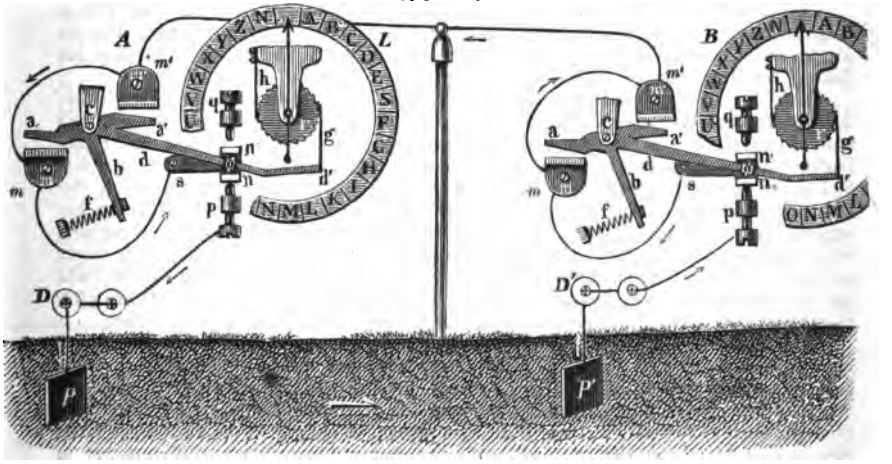
Ueber die Benutzung des feuchten Erdreichs für die electrische Leitung bemerken wir noch Folgendes: Wenn der eine Pol der in A aufgestellten electrischen Batterie mit der in das feuchte Erdreich eingesenkten Platte c, der andere Pol durch den Leitungsdraht ab mit der in B eingesenkten Platte d verbunden ist, so werden die entgegengesetzten Electricitäten dieser Pole in den Erdboden abgeleitet. Indem aber vermöge der electromotorischen Kraft der einzelnen die Batterie zusammensetzenden Elemente die Pole derselben sich immer wieder aufs Neue laden, so geht ins Besondere durch den Leitungsdraht ab, welcher vor seinem Uebergange in das feuchte Erdreich den Electromagneten in B in mehrfachen Windungen umkreist, ein unausgesetzter electrischer Strom. — Je größer die Oberfläche der Metallplatten c und d ist, um so geringer ist der Widerstand, welchen der electrische Strom bei seinem Uebergange aus denselben in den Erdboden erfährt. Haben die Metallplatten eine beträchtliche Größe, so kann die Schwächung, welche der electrische Strom in Folge dieses Widerstandes erleidet, als verschwindend klein gegen die Schwächung, welche derselbe in dem langen und dünnen Leitungsdrahte ab erleidet, angesehen werden, während diese Schwächung auf das Doppelte steigen muß, wenn das feuchte Erdreich nicht benutzt und die Rückleitung des electrischen Stromes durch einen zweiten Draht cd bewerkstelligt wird. Durch die Einschaltung des feuchten Erdbodens wird daher nicht blos an Kosten gespart, sondern auch an Stärke des electrischen Stromes unter übrigens gleichen Umständen gewonnen.

Für oberirdische Leitungen giebt man allgemein wegen der größeren Billigkeit und Festigkeit Eisendrähten, welche man mit einem dünnen Zinküberzuge versieht (vergl. oben §. 147), vor Kupferdrähten den Vorzug. Natürlich muß aber ein Eisendraht, wenn er eben so gut wie ein Kupferdraht leiten soll, eine größere Stärke haben. Vergl. oben §. 153.

Unter den verschiedenen Telegraphen heben wir besonders die folgenden hervor:

Bei den Zeiger- oder Buchstaben-Telegraphen wird durch den electrischen Strom ein Zeiger über einer an ihrem Umfange mit Buchstaben bezeichneten kreisförmigen Scheibe in ähnlicher Art, wie der Zeiger einer Uhr fortbewegt. Unter denselben zeichnen sich besonders die von Siemens und Halske durch große Schnelligkeit und Sicherheit in der Fortbewegung des Zeigers aus. Die Einrichtung dieser äußerst sinnreichen Apparate zeigt im Wesentlichen Fig. 162. mm′ sind die mit Kappen

(Fig. 162.)



von weichem Eisen versehenen oberen Pole zweier aufrecht stehenden Electromagnete, deren untere Pole durch eine Platte von weichem Eisen verbunden sind. Bei hergestellter Stromverbindung wird der um die Axe c drehbare Anker aa′ von denselben angezogen, bei unterbrochenem Strom aber durch die Feder f, welche auf den ebenfalls an der Axe c angebrachten Hebel b wirkt, zurückgezogen. An der nehmlichen Axe ist auch der Hebelarm dd′ befestigt, mit welchem der Haken g verbunden ist, der in die

Zähne des Stahlrädchens r eingreift und dieses bei jedem Hin- und Hergange des Hebels dd' um einen Zahn fortbewegt, in Folge dessen auch der mit diesem Rädchen verbundene Zeiger um einen Buchstaben fortgeführt wird. Um eine Bewegung des Rädchens in der entgegengesetzten Richtung unmöglich zu machen, ist an der entgegengesetzten Seite der Sperrhaken h angebracht. Zur abwechselnden Herstellung und Unterbrechung der Stromverbindung dient ein um s drehbarer Metallstreifen, welcher am andern Ende eine kleine metallene Brücke trägt, an welcher zwei Backen nn' senkrecht auf der Fläche derselben angebracht sind. Ein an dem Hebelarme dd' befestigtes Querstäbchen o stößt nun bei der Hin- und Herbewegung dieses Hebels mit seinen Enden abwechselnd gegen die auf der Brücke befindlichen Backen nn' und bringt bald die eine, bald die andere derselben mit den Schrauben p und q in Berührung. Die Schraube q hat nur die Bestimmung, ein zu weites Ausschreiten der Brücke zu verhindern; die Schraube p dagegen steht mit der Stromleitung selbst in Verbindung. Dasselbe gilt von dem Metallstreifen s. Nehmen wir nehmlich an, daß der von dem Stationsorte B kommende Leitungsdraht dort mit dem positiven Pole einer electrischen Batterie D' verbunden ist, und daß der negative Pol einer in A aufgestellten Batterie D mit der Schraube p des hier befindlichen Apparates leitend verbunden ist, während die anderen Pole beider Batterieen mit Erdplatten in Verbindung stehen, so durchläuft der electrische Strom, wenn n mit p in Berührung steht, die Leitung in der durch die beigesetzten Pfeile angezeigten Richtung. Indem derselbe zugleich die Electromagnete m und m' umkreist, wird der Anker aa' von den Polen derselben angezogen, der Hebel dd' aufwärts bewegt, die Berührung von n und p aufgehoben und folglich der Strom unterbrochen; der von dem Magnetpole nicht mehr angezogene Anker wird nun sofort durch die Feder f abgerissen und der Hebelarm dd' abwärts bewegt, wodurch aufs Neue die Stromverbindung hergestellt und der Anker wieder von den Magnetpolen angezogen wird. Auf diese Art wechseln in sehr schneller Folge Herstellung und Unterbrechung des Stromes und Auf- und Niederbewegung des Hebelarmes dd', wodurch ein rascher Umlauf des Rädchens r und des mit demselben verbundenen Zeigers bewirkt wird. — Um diesen an einem bestimmten Buchstaben anhalten zu können, ist unter demselben an der Axe des Rädchens ein zweiter dem obern paralleler Zeiger befestigt und neben jedem Buchstaben eine in der Figur nicht abgebildete Taste angebracht, bei deren Niederdrücken die Fortbewegung des untern und also auch die des obern Zeigers gehemmt wird, während bei dem Loslassen dieser Taste das Spiel des Apparates und die Fortbewegung der Zeiger von Neuem beginnt, um dann bei einem zweiten Buchstaben, welcher telegraphirt werden soll, beim Niederdrucke der betreffenden Taste abermals anzuhalten. —

Die Tasten sind so angebracht, daß die Hemmung durch dieselben in einem solchen Augenblicke erfolgt, in welchem die Brücke nn' die Schraube p nicht berührt, also die Stromleitung unterbrochen ist, welche beim Loslassen der Taste durch den Zug der Feder f sofort wieder hergestellt wird.

Sind nun in die nehmliche Stromleitung zwei in ganz gleicher Weise construirte Telegraphen von der eben beschriebenen Einrichtung eingeschaltet, wie dies Fig. 162 schematisch darstellt, so werden auch bei beiden die Zeiger in ganz gleicher Weise umlaufen, und es wird daher, wenn bei beiden die Zeiger ursprünglich auf das zwischen dem ersten und letzten Buchstaben leer gelassene Feld wiesen, auch der eine genau dieselben Buchstaben telegraphiren, bei denen an dem andern durch das Niederdrücken der betreffenden Tasten der Zeiger angehalten wird. Denn in dem Augenblicke in welchem dieses geschieht und die Bewegung des einen Zeigers gehemmt wird, muß auch wegen der unterbrochenen Stromleitung der Zeiger des andern Telegraphen still stehen; und da bei losgelassener Taste durch die Feder f die Stromleitung wieder hergestellt wird, so müssen jetzt beide Zeiger ihre übereinstimmende Bewegung aufs Neue beginnen.

Noch bemerken wir kurz, daß sich auf jeder Telegraphenstation ein Weckerapparat befindet, durch welchen der Telegraphist einer entfernten Station benachrichtigt wird, daß telegraphirt werden soll. Dieser Apparat hat eine ganz ähnliche Einrichtung wie der oben beschriebene Buchstabentelegraph, nur daß bei demselben nicht ein Zeiger, sondern ein kleiner Hammer, welcher gegen eine Glocke schlägt, in Bewegung gesetzt wird. So lange nicht telegraphirt wird, ist nicht der Zeiger-, sondern der Weckerapparat in die Stromleitung eingeschaltet. Nachdem durch diesen der Telegraphist die Anzeige einer bevorstehenden Depesche erhalten hat, wird von demselben der Weckerapparat außer Verbindung mit der Stromleitung gesetzt und der Zeigerapparat eingeschaltet.

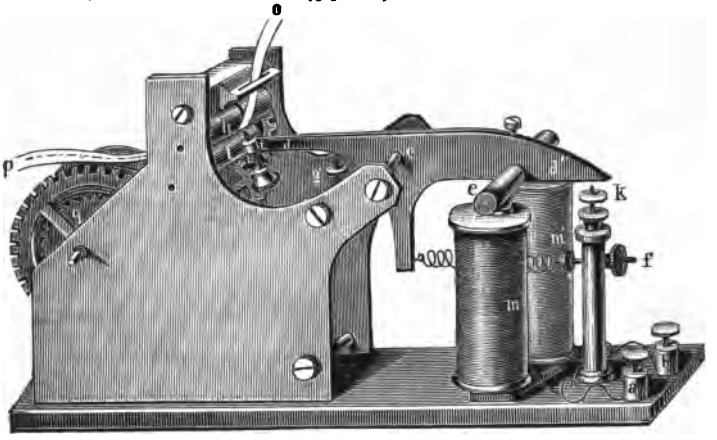
Die hier beschriebenen Zeigertelegraphen von Siemens und Halske*) sind,

*) Neuerdings sind von den nehmlichen Künstlern Zeigertelegraphen construirt worden, bei welchen das Umlaufen des Zeigers durch magnetelectrische Ströme mit großer

besonders noch auf den Telegraphenlinien, welche zum Betriebe der Eisenbahnen dienen, in Preußen und anderen Ländern in Gebrauch; sie werden jedoch mehr und mehr durch die sogleich näher zu beschreibenden Drucktelegraphen, denen sie in der Sicherheit und Schnelligkeit der Zeichengebung nachstehn, verdrängt.

In Amerika wendet man allgemein Morse's Drucktelegraphen an, bei welchem die von dem Stationsorte A nach B hin zu telegraphirenden Buchstaben in B vermittelst eines Electromagneten, in welchem die Kraft erregt wird oder verschwindet, je nachdem in A die Kette geschlossen oder geöffnet wird, auf einem sich gleichmäßig fortbewegenden Papierstreifen abgedruckt werden. Der Papierstreifen op, Fig. 163, geht

(Fig 163.)



zwischen zwei dicht an einander schließenden Walzen h und l hindurch, von denen die eine l durch ein gewöhnliches Uhrwerk genau gleichmäßig umgedreht wird. (An der linken Seite der Figur ist ein Theil der Trommel q dieses Uhrwerks sichtbar.) Die Walze h steht mit den Rädern des Uhrwerks in keiner Verbindung, und wird nur durch die Reibung an der sich drehenden Walze l in der entgegengesetzten Richtung umgedreht, wodurch zugleich der zwischen beide Walzen gepreßte Papierstreifen fortgeschoben wird. Da, wo der Papierstreifen an der Walze h anliegt, ist rings um dieselbe eine rinnenförmige Vertiefung angebracht, in welche die Spitze des Stahlstifts i, wenn derselbe gegen die Walze h gepreßt wird, genau einpaßt. Dieser Stift ist nehmlich an dem einen Ende des um die Axe c drehbaren Hebelarmes dd' befestigt, welcher an seinem anderen Ende über dem Electromagneten mm', der vermittelst der Klemmschrauben a und b in die Stromleitung eingeschaltet ist, den Anker e trägt. So lange die Kette in dem Stationsorte A, von welchem aus telegraphirt werden soll, geöffnet ist, wird der Hebelarm dd' durch die Feder f so gestellt, daß der Anker e von den Polen des Electromagneten und der Stift i von dem Papierstreifen po um einen kleinen Abstand entfernt ist. So wie aber in A die Kette geschlossen und in Folge hiervon der Anker e von dem Electromagneten mm' angezogen wird, drückt die Spitze des Stiftes i gegen den durch das Räderwerk gleichmäßig fortgeführten Papierstreifen und bringt in demselben einen längeren oder kürzeren Einschnitt hervor, je nachdem die Kette in A längere oder kürzere Zeit geschlossen bleibt. — Der Anker e kommt hierbei mit den Polen des Electromagneten mm' niemals in unmittelbare Berührung, sondern nähert sich denselben nur bis zu einem kleinen Abstande, welcher durch die Schraube k regulirt wird. Eben so wird an der andern Seite durch eine Schraube g die Entfernung begrenzt, bis zu welcher der Hebelarm durch die Feder f fortgezogen wird. — Durch die verschiedenen Combinationen der längeren und kürzeren Einschnitte, welche der Stift i in dem Papierstreifen op hervorbringt, können Buchstaben, Ziffern und beliebige andere Zeichen ausgedrückt werden, wobei jedes folgende Zeichen vom vorhergehenden durch einen größeren

---

Sicherheit bewerkstelligt wird. Wir verweisen unsere Leser, welche sich hierüber, so wie über electrische Telegraphie überhaupt ausführlicher belehren wollen, auf die gesammten Naturwissenschaften, 2. Aufl. B. 1. S. 379.

Zwischenraum getrennt ist. So wird z. B. das Wort **England** bei **Morse's** Telegraph auf dem Papierstreifen folgendermaßen abgedruckt:

. —. ——. .—.. .— —. —..

e n g l a n d

Von einem eingeübten Telegraphisten können mit dem **Morse**'schen Apparate in der Minute 80 bis 100 Buchstaben signalisirt werden; die vollkommensten Zeigertelegraphen vermögen deren nur 40 bis 50 in der nehmlichen Zeit zu liefern.

Daß auch bei dem Morse'schen Apparat zuerst von A nach B hin ein Zeichen gegeben wird, daß telegraphirt werden soll und daher das die Walze umdrehende Uhrwerk in Gang zu setzen ist, braucht wohl kaum erst erinnert zu werden. Es bedarf jedoch hierzu eines besonderen Weckapparates nicht; ein rasch auf einander folgendes Oeffnen und Schließen der Kette in dem einen Stationsorte und hierdurch bewirktes Anschlagen des Druckstiftes gegen die Walze in dem andern Stationsorte ist mit einem hinreichenden Geräusche verbunden, um den Telegraphisten in dem letzteren Orte aufmerksam zu machen.

Zum Oeffnen und Schließen der Kette dient die in Fig. 164 abgebildete Vorrichtung, welche den Namen des **Schlüssels** führt. Ein metallener Hebel H ist um die Achse c in einem ebenfalls metallenen Lager drehbar, welches durch einen Draht L mit der Hauptleitung des Stromes in Verbindung steht. In der Ruhelage wird die linke Seite des Hebels H durch eine Feder f niedergedrückt und die Schraube s mit dem metallenen Knopfe o in Berührung gebracht, welcher mit der Klemmschraube a in leitender Verbindung steht. Von dieser führt eine sich in zwei Arme theilende Leitung (vgl. die folgende Fig.) mit dem einen Arme nach dem Electromagneten und dann weiter nach der Erdplatte und mit dem andern Arme nach dem einen Pole der Batterie der eigenen Station. Beim Niederdrücken des Griffes G kommt dagegen der metallene Stift i mit dem Knopfe o in Berührung, welcher mit der Klemmschraube b in leitender Verbindung steht, die durch einen Draht mit dem andern Pole der Batterie verbunden ist.

(Fig. 164.)

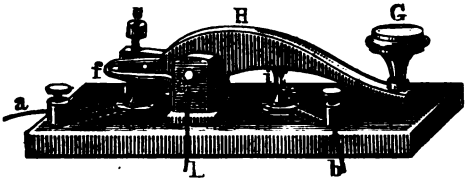
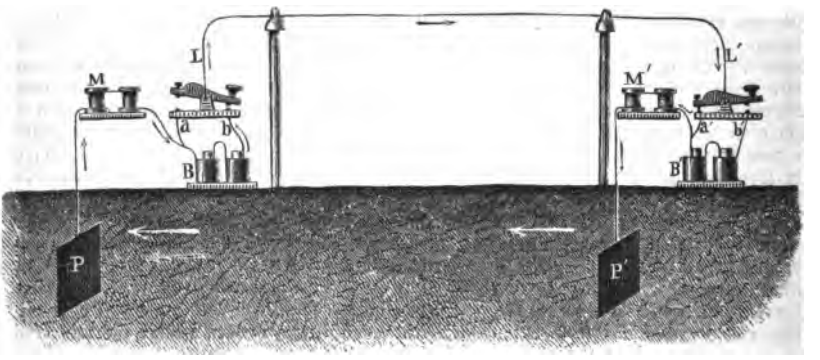


Fig. 165 zeigt für zwei Stationsorte, welche durch einen Leitungsdraht mit einander verbunden sind, die leicht verständliche Anordnung, in welcher die Batterieen, die Electro-

I. (Fig. 165.) II.



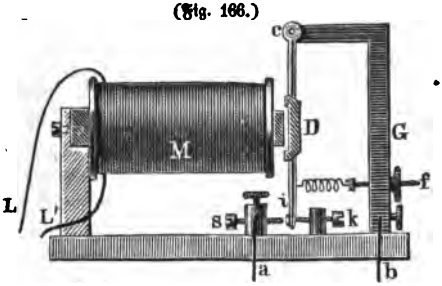
magnete der Drucktelegraphen, die Schlüssel und die Erdplatten auf beiden Stationen in diese Leitung eingeschaltet sind. Ist auf der Station I der Schlüssel niedergedrückt, so wird auf derselben die Batterie B geschlossen und der durch die Batterie B erregte Strom circulirt in der Richtung bLL'a'M'P'PMB, wie dies auch außerdem durch die beigesetzten Pfeile angedeutet wird. Es kommen daher auf beiden Stationen die Electromagneten M und M' in Thätigkeit, was den Vortheil gewährt, daß wenn etwa an irgend einer Stelle der Stromleitung eine Unterbrechung entstanden sein sollte, dies sich auf der Station, welche die Depesche abgiebt, durch die Unthätigkeit des eigenen Apparates zu erkennen giebt. — Befindet sich auf beiden Stationen der Schlüssel in

der Ruhelage, so kann kein Strom circuliren, weil dann die Leitung sowohl bei b, als bei b' unterbrochen ist, und also beide Batterien B und B' geöffnet sind.

Man hat in neuerer Zeit den Versuch ausgeführt, durch den nehmlichen Draht von einer Station A nach einer andern B und gleichseitig von B nach A zu telegraphiren. Es könnte dieses sogenannte Gegensprechen unbegreiflich erscheinen, da man doch nicht füglich annehmen kann, daß zwei Ströme, ohne sich zu stören, gleichzeitig den nehmlichen Draht in entgegengesetzten Richtungen durchlaufen. Die Auflösung des Räthsels läßt sich jedoch in folgender Weise gewinnen. Man führt um die Electromagneten auf jeder Station noch einen zweiten Strom, welcher die entgegengesetzte Richtung des Hauptstromes, mit demselben aber nahezu gleiche Stärke hat, vermittelst einer Batterie, welche mit der Hauptleitung in keiner Verbindung steht. Wird nun auf der Station A die Batterie geschlossen, so circuliren um den Electromagneten derselben zwei Ströme, der Hauptstrom und der Nebenstrom, in entgegengesetzter Richtung, und indem sie sich gegenseitig aufheben, entsteht kein Zeichen, während der Hauptstrom nach der Station B fortgeleitet wird und dort das gewünschte Zeichen hervorbringt. Werden aber die Batterieen auf beiden Stationen geschlossen, so circuliren jetzt auf der einen, wie auf der andern, um den betreffenden Electromagneten drei Ströme, von denen zwei sich aufheben, der dritte aber die Electromagneten in Thätigkeit setzt, so daß also jetzt auf beiden Stationen ein Zeichen entsteht.

Wir übergehen die mit dem Morse'schen Telegraphen verbundenen Nebenapparate und berücksichtigen nur noch kurz den folgenden Umstand: Da der electrische Strom, wenn in sehr weite Entfernungen direct telegraphirt werden soll, theils durch den zu überwindenden Leitungswiderstand, theils vermöge der niemals mit absoluter Vollkommenheit herzustellenden Isolirung eine sehr beträchtliche Schwächung erfährt, so würde es kaum durch die stärkste Batterie möglich sein, den Schreibstift des Drucktelegraphen mit hinreichender Kraft in Bewegung zu setzen. Dieser Uebelstand kann nun durch den zuerst von Wheatstone erfundenen Uebertrager oder das Relais beseitigt werden. Fig. 166 stellt das Princip dieses Apparates, dessen Einrichtung sich übrigens mannichfach abändern läßt, in leicht verständlicher Weise dar. — Der durch die angeführten Umstände geschwächte Strom der Hauptleitung wirkt nicht unmittelbar auf den Electromagneten des Schreibapparates, sondern auf einen kleinen Electromagneten M; ein dem einen Pole desselben gegenüber befindlicher Anker D ist an einem metallenen, sehr leicht drehbaren Hebel c befestigt, so daß zur Bewegung desselben, welche durch die Schrauben s und k regulirt wird, schon eine sehr geringe Kraft ausreicht. Dieser Hebel, welcher von der metallenen Säule G getragen wird, bringt nun, wenn er angezogen wird, wie aus der Figur leicht ersichtlich ist, die beiden Klemmschrauben a und b, welche mit den Polen einer zweiten Batterie, der Lokalbatterie, verbunden sind, mit einander in leitende Verbindung, während diese Verbindung, wenn der Anker losgelassen wird, wieder aufgehoben ist. Der Strom der Lokalbatterie aber umkreist den Electromagneten des Schreibapparates und setzt, wenn diese in der angegebenen Art geschlossen wird, den Schreibstift in Bewegung. Da dieser Strom nur eine verhältnißmäßig sehr kurze Leitung zu durchlaufen hat, so reicht hierzu schon eine aus wenigen Elementen bestehende Batterie aus.

(Fig. 166.)



Während der Zeigertelegraph nur eine beschränkte Zahl von Zeichen zu geben vermag, lassen sich mit dem Drucktelegraphen beliebig viele Zeichen ausführen. Hat der Zeigertelegraph den Vorzug, daß sich jeder, welcher zu lesen im Stande ist, desselben bedienen kann, so gewährt der Drucktelegraph den überwiegenden Vortheil der größeren Schnelligkeit und Sicherheit. Derselbe eignet sich daher ganz besonders zur Mittheilung längerer und wichtiger Nachrichten und ist außer Amerika auch im südlichen Deutschland, Oesterreich und andern Ländern, in Preußen auf den Staatstelegraphenlinien in Gebrauch.

In England wendet man fast allgemein die Nadeltelegraphen von Wheatstone und Cooke an. Dieselben bestehen aus vertical gestellten und um eine wagerechte Axe drehbaren astatischen Magnetnadeln, welche bei wechselnder Richtung des electrischen Stromes bald nach der einen, bald nach der andern Seite abgelenkt werden. Zwei zu beiden Seiten der Nadeln angebrachte Stifte verhindern, daß die Ausschläge derselben

25° nicht überschreiten. Die verschiedenen Zeichen werden hier durch die Combinationen der beiden Ablenkungen nach rechts und links, z. B. rechts rechts, rechts links, links links rechts u. dgl. m. gebildet. — Man wendet hierbei entweder nur eine Nadel mit einem Fortleitungsdrahte oder zwei Nadeln mit zwei Drähten an. In letzterem Falle wird die Hälfte der Buchstaben des Alphabets (überhaupt der zu gebenden Zeichen) durch die Ablenkungen der einen Nadel, die andere Hälfte durch die Ablenkungen der anderen Nadel hervorgebracht. Die letztere Einrichtung kommt wegen der Anlage zweier Drähte kostspieliger zu stehen, gestattet aber ein rascheres Zeichengeben.

In Frankreich sind ebenfalls Nadeltelegraphen in Gebrauch, welche jedoch in ihrer Einrichtung von den in England eingeführten abweichen.

Zur Erzeugung des electrischen Stromes wendet man theils die oben angeführten constanten Batterieen, (in Preußen Zinkkohlenketten, bei denen die Kohle in 10fach, das Zink in 20fach verdünnter Schwefelsäure eingetaucht ist), theils die weiter unten §. 162 zu beschreibende magnetelectrische Maschine, theils (England) galvanische Batterieen an, welche aus zahlreichen Elementen von Zink und Silber bestehen, welche sich in einem Bade von feinem Sande befinden, der mit sehr verdünnter Schwefelsäure schwach angefeuchtet wird.

Die Fortleitungsdrähte werden entweder auf Stangen durch die Luft oder unter der Erde hin geführt und dann durch Gutta-Percha isolirt; dasselbe gilt von unter Wasser fortgeführten Drahtleitungen.

Der erste Nadeltelegraph ist im Jahre 1833 von Gauß und Weber in Göttingen hergestellt worden. Die Drahtleitung erstreckte sich jedoch nur auf eine sehr kurze Entfernung von der Sternwarte bis zu dem physikalischen Kabinet der Universität. — Nadeltelegraphen mit verbesserter Einrichtung und auf weitere Entfernungen sind demnächst von Steinheil in München, von Wheatstone, Cooke und Bain in England ausgeführt worden. Der Drucktelegraph ist von Morse in Amerika 1837, der erste Zeigertelegraph von Wheatstone 1840 erfunden worden. — Im Jahre 1837 hat Steinheil zuerst den feuchten Erdboden zur Leitung des electrischen Stromes benutzt.

*§. 156. Electrische Uhren.

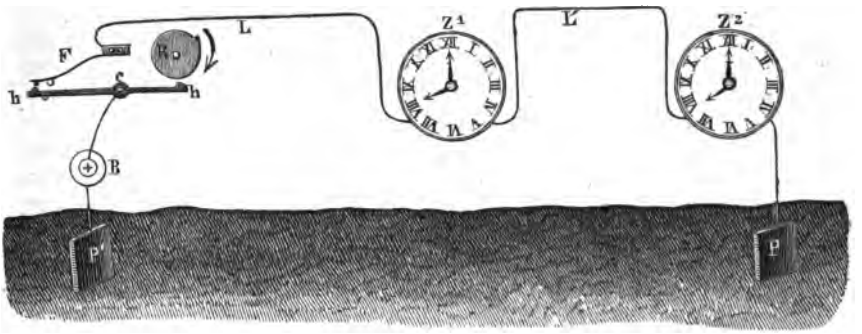
Auf dem nehmlichen Principe, wie die electrischen Telegraphen, beruhen auch die sogenannten electrischen Uhren. Die Einrichtung derselben ist im Wesentlichen folgende: — Eine gewöhnliche Pendeluhr, die Normaluhr, steht mit einer electrischen Batterie in leitender Verbindung. In dem Räderwerk dieser Uhr ist eine mechanische Vorrichtung angebracht, durch welche die Fortleitung des electrischen Stromes während einer jeden Minute einmal für eine kurze Zeit hergestellt und dann wieder unterbrochen wird. Eine Drahtleitung führt diesen Strom nach den etwa auf den Thürmen oder in anderen öffentlichen oder Privat-Gebäuden einer Stadt angebrachten galvanischen Uhren. Diese haben weder Pendel, noch Gewichte, sondern statt dessen einen kleinen Electromagneten, welcher bei dem abwechselnden Schließen und Oeffnen der Kette den vorliegenden Anker anzieht und losläßt, wodurch (in ähnlicher Art wie bei den Zeigertelegraphen) ein mit 60 Zähnen versehenes Rädchen jedesmal um einen Zahn fortgeschoben wird und folglich auch der mit demselben verbundene Minutenzeiger um den sechszigsten Theil des ganzen Kreises fortrückt. Ein Räderwerk, von ähnlicher Eintichtung wie bei den Taschenuhren, überträgt die Bewegung des Minutenzeigers auf den Stundenzeiger.

Man begreift hiernach leicht, daß sämmtliche galvanische Uhren den nehmlichen Gang wie die Normaluhr befolgen; man hat daher nur nöthig, für einen genauen und richtigen Gang dieser letzteren zu sorgen.

In Fig. 166a. sind Z_1 und Z_2 die Zifferblätter zweier galvanischen Uhren, welche durch die Drahtleitung LL′ mit der Normaluhr in Verbindung stehen. Auf der Axe des Secundenrades dieser Uhr ist ein elfenbeinernes Rädchen R befestigt, welches sich in jeder Minute in der Richtung des beigesetzten Pfeiles einmal umdreht und vermittelst einer an seinem Umfange angebrachten s. g. Nase den rechten Arm eines metallenen Hebels hh für eine kurze Zeit, etwa eine Secunde, niederdrückt, wodurch der linke Arm dieses Hebels mit einer metallenen Feder F in Berührung gebracht wird, welche mit der Drahtleitung LL′ in Verbindung steht, während der metallene Hebel

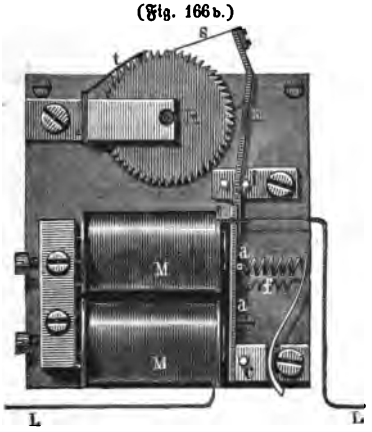
selbst mit der galvanischen Batterie B leitend verbunden ist. Bei der jedesmaligen, in der angegebenen Weise bewirkten Schließung der galvanischen Kette werden die Electro-

(Fig. 166 a.)



magnete sämmtlicher in die Stromleitung eingeschalteten galvanischen Uhren in Thätigkeit gesetzt und in Folge hiervon die Minutenzeiger um eine Minute, den 60sten Theil des Umfanges, fortbewegt. Die hierzu dienende Vorrichtung ist in Fig. 166 b. abgebildet. Indem der um c drehbare Anker aa von dem Electromagneten MM angezogen wird, schiebt der mit demselben verbundene Hebelarm h vermittelst des federnden Stößers S das Rad R, welches an seinem Umfange 60 Zähne trägt, um einen Zahn weiter. Eine an dem Hebelarme h angebrachte Schneide, welche zugleich in die nächstfolgende Zahnlücke eingreift, verhindert, daß das Rad R nicht um mehr, als einen Zahn auf einmal fortbewegt wird, während der federnde Sperrhaken t einer rückwärts gehenden Bewegung des Rades vorbeugt. Ist der Strom unterbrochen, so wird der Anker aa durch die Feder f zurückgezogen. Zwei bei i angebrachte Stifte begrenzen die hin- und hergehende Bewegung dieses Ankers.

(Fig. 166 b.)



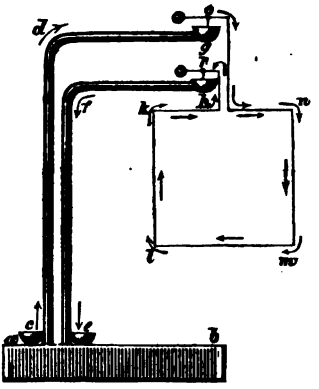
Der Electromagnetismus kann auch noch dazu benutzt werden, um sehr kleine Zeitintervalle, z. B. die Zeit zu messen, während welcher eine Geschützkugel einen bestimmten Weg durchläuft. Die einfachste Einrichtung der hierzu dienenden Apparate, welche den Namen Chronoscop führen, besteht darin, daß der bewegte Körper am Anfange und am Ende des abgemessenen Weges Electromagnete in Thätigkeit oder außer Wirksamkeit setzt, deren Anker auf einer rasch, aber genau gleichmäßig gedrehten Scheibe oder Walze Zeichen hervorbringen, deren Abstand von einander verglichen mit der bekannten Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe oder Walze ein Maaß der gesuchten Zeit giebt.

*§. 157. Wirkung eines festen Magneten auf einen beweglichen Strom.

So wie eine Magnetnadel, neben welcher ein electrischer Strom vorbei geführt wird, durch denselben aus ihrer normalen Lage abgelenkt wird, eben so müssen auch die Pole eines festen Magneten auf einen beweglichen Draht, welcher von einem electrischen Strome durchlaufen wird, bewegend einwirken. Um dieses zu zeigen, dient die folgende Vorrichtung: Auf einem hölzernen Brette ab (Fig. 167) sind zwei starke Drähte cd und ef aufgerichtet, welche oben in zwei wagerechte Arme dg und fh umgebogen sind; an den Enden dieser Arme in g und h und unten in c und e sind kleine Schälchen zur Aufnahme

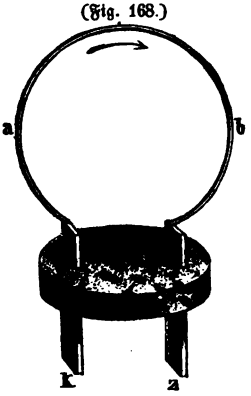
von Queckſilber angebracht. Ein Kupferdraht iſt in die Form eines Rechtecks klmn gebogen und an ſeinen Enden bei o und p mit zwei feinen Stahlſpitzen verſehen. Wird nun das Rechteck klmn mit den Stahlſpitzen o und p in die Näpfchen g und h eingehangen, und werden in die Näpfchen c und e die Poldrähte getaucht, ſo durchläuft der electriſche Strom das Rechteck klmn, welches ſich um eine durch die Stahlſpitzen op gehende verticale Linie drehen kann. Nähert man jetzt einer Seite dieſes Rechtecks den Pol eines kräftigen Magneten, ſo wird dasſelbe eine Ablenkung erfahren, welche natürlich derjenigen gerade entgegengeſetzt iſt, die der feſtgehaltene, von dem electriſchen Strome durchlaufene Draht auf den beweglichen Magnetpol ausüben würde und ſich daher mit Leichtigkeit nach der oben angegebenen Ampère'ſchen Regel beſtimmen läßt.

(Fig. 167.)



Iſt der das Rechteck durchlaufende Strom hinreichend ſtark, ſo wird dasſelbe durch die Einwirkung des Magnetismus der Erde in die Richtung von Oſten nach Weſten oder genauer ſo geſtellt, daß ſeine wagerechten Seiten auf der Richtung einer Declinationsnadel ſenkrecht ſtehen. Kehrt man die Richtung des Stromes um, indem man die Poldrähte in c und e vertauſcht, ſo dreht ſich das Rechteck um 180° und wendet nun diejenige Seite nach Süden, die vorher nach Norden gekehrt war. In beiden Fällen ſtellt ſich das Rechteck ſo, daß der poſitive Strom die untere wagerechte Seite in der Richtung von Oſten nach Weſten durchläuft. (Vergl. unten §. 159.)

(Fig. 168.)



Bei den ſo eben beſchriebenen Verſuchen iſt für den gebogenen Draht die Form des Rechtecks nicht weſentlich; man erhält dieſelben Erſcheinungen, wenn der Draht eine kreisförmige oder eine andere Geſtalt hat. Sämmtliche Wirkungen, beſonders aber die des Erdmagnetismus, werden verſtärkt, wenn man den Draht nicht blos eine Biegung, ſondern mehrere ſpiralförmige Windungen machen läßt.

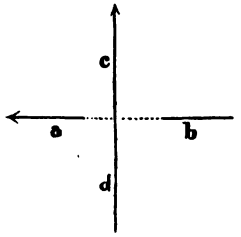
Um die Einwirkung des Erdmagnetismus oder der Pole eines künſtlichen Magneten auf einen beweglichen Strom zu zeigen, kann man ſich noch der folgenden ſehr einfachen, von de la Rive angegebenen Vorrichtung, Fig. 168, bedienen. In eine Scheibe von Kork wird ein Stück Zink Z und ein Stück Kupfer K geſteckt, und beide Metalle werden durch einen gebogenen Kupferdraht ab mit einander verbunden. Bringt man nun dieſen Apparat auf geſäuertem Waſſer zum Schwimmen, ſo ſtellt ſich derſelbe von ſelbſt in der Richtung von Oſten nach Weſten.

*§. 158. Gegenſeitige Wirkung zweier electriſchen Ströme.

Auch zwei electriſche Ströme, welche beide beweglich ſind, oder von denen der eine beweglich, der andere feſt iſt, zeigen eine gegenſeitige Einwirkung auf einander, und zwar gelten hierüber die folgenden Geſetze:

1) Zwei parallele Ströme, welche dieselbe Richtung haben, ziehen sich an, und zwei parallele Ströme, welche entgegengesetzte Richtung haben, stoßen sich ab.

(Fig. 169.)



2) Wenn zwei Ströme ab und cd (Fig. 169) sich kreuzen, so findet Anziehung statt zwischen den Theilen b und d, welche nach dem Kreuzungspunkte hingehen, und zwischen den Theilen a und c, welche vom Kreuzungspunkte weggehen; Abstoßung aber findet statt zwischen einem Theile, welcher nach dem Kreuzungspunkte hingeht, und einem solchen, welcher vom Kreuzungspunkte weggeht, also zwischen a und d und zwischen b und c.

3) Zwei sich kreuzende Ströme streben daher immer sich so zu stellen, daß sie einander parallel laufen und in derselben Richtung fortgehen, wie leicht daraus folgt, daß a und c und b und d sich einander anziehen, aber a und d und b und c sich abstoßen.

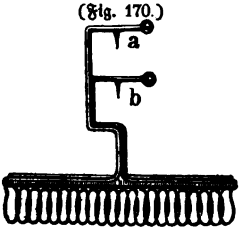
Um das erste Gesetz nachzuweisen hat man nur nöthig, durch das bewegliche Rechteck klmn in Fig. 167 einen electrischen Strom zu leiten und neben einer vertikalen Seite desselben einen senkrechten Strom in gleicher oder entgegengesetzter Richtung vorbeizuführen. Eben so läßt sich die Richtigkeit des zweiten und dritten Gesetzes leicht zeigen, wenn man in derselben wagerechten Ebene mit der unteren horizontalen Seite des Rechtecks oder unterhalb derselben einen die Richtung dieser Seite kreuzenden wagerechten Strom herleitet.

Ferner fügen wir zu den obigen Gesetzen noch das folgende hinzu: Die Kraft, mit welcher zwei Ströme sich anziehen oder abstoßen, ist der Länge der auf einander wirkenden Theile, dem Produkte der Intensitäten beider Ströme direct und dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional.

*§. 159. Ampère's Theorie.

Wenn man einen Kupferdraht (Fig. 170) schraubenförmig windet und die einzelnen Windungen um größerer Festigkeit Willen mit seidenen Fäden an ein hölzernes Stäbchen bindet, hierauf den Draht mit den Spitzen a und b in die Quecksilberschälchen g und h des oben, Fig. 167, abgebildeten Apparates (statt des Rechtecks klmn) einhängt und einen electrischen Strom hindurchleitet, so wird dieser Schraubendraht durch die Einwirkung des Erdmagnetismus (nach §. 157) so gedreht, daß die einzelnen Windungen die Lage von Osten nach Westen annehmen, also die Axe des Cylinders von Norden nach Süden gerichtet ist oder vielmehr in die Ebene des magnetischen Meridians fällt. Dieser Schraubendraht, welchen Ampère ein Solenoid (von σωλήν, Röhre) nennt, vermag also die gewöhnliche Declinationsnadel zu ersetzen.

(Fig. 170.)



Giebt man dem Solenoid eine solche Einrichtung, daß sich dasselbe um eine durch seinen Schwerpunkt gehende wagerechte Axe drehen läßt, und stellt das Solenoid so auf, daß die verticale Drehungsebene desselben mit der Ebene des magnetischen Meridians zusammenfällt, so senkt sich das nach Norden gerichtete Ende, und die Axe des Solenoids giebt die magnetische Neigung an.

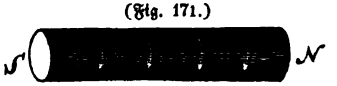
Nennen wir das nach Norden gerichtete Ende den Nordpol, das andere den Südpol, so finden wir, daß bei zwei Solenoiden oder einem Solenoid und einem gewöhnlichen Magneten die gleichnamigen Pole sich abstoßen und die ungleichnamigen sich anziehen.

Dem zu Folge sieht Ampère jeden gewöhnlichen Magneten, so wie auch die Erde selbst, als einen Körper an, dessen kleinste Theile von beständigen electrischen Strömen in einer zur Axe des Magneten senkrechten Richtung umkreist werden. Statt der die einzelnen Theile desselben Querdurchschnitts umkreisenden Ströme kann man sich auch, gleichsam als Resultirende derselben, größere, den ganzen Magneten umkreisende Ströme von gleicher Wirkung gesetzt denken. Bei der Erde müssen diese Ströme von Osten nach Westen gehen, da dieselbe im Norden einen Südpol und im Süden einen Nordpol hat.

Nach Ampère's Theorie ergiebt sich der oben §. 149 beschriebene Oersted'sche Fundamentalversuch als eine nothwendige Folge des allgemeinen Gesetzes, daß zwei auf einander wirkende electrische Ströme sich so zu stellen streben, daß beide dieselbe parallele Richtung haben. Auch erklärt sich hieraus, warum zwei Magnete, wenn sie einander mit den ungleichnamigen Polen genähert werden, sich anziehen, und wenn sie mit den gleichnamigen Polen einander genähert werden, sich abstoßen, weil im ersteren Falle die electrischen, sie umkreisenden Ströme dieselbe, im letzteren Falle die entgegengesetzte Richtung haben.

Zur Veranschaulichung dieser Verhältnisse verfertigt man sich zwei Cylinder von Holz oder Pappe, wie Fig. 171 deren einen darstellt, und bezeichnet durch Pfeile die Richtung der electrischen Ströme, von denen man sich dieselben umkreist denkt. N ist alsdann der Nordpol, S der Südpol. Nähert man zwei solche Cylinder einander mit den ungleichnamigen Polen, so sieht man, daß die Ströme gleiche Richtung haben und sich folglich anziehen müssen; das Gegentheil findet statt, wenn man die gleichnamigen Pole einander nähert.

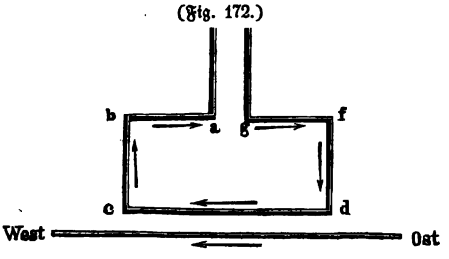
(Fig. 171.)



Eine Verschiedenheit zwischen dem galvanischen Schraubendrahte (Solenoide) und einem gewöhnlichen Magneten zeigt der folgende zuerst von Poggendorf in Berlin ausgeführte Versuch. Wenn man einen hohlen Stahlmagneten, in dessen Höhlung sich eine gläserne Röhre befindet, aufrecht stellt und in die Röhre eine magnetisirte Stahlnadel so einsenkt, daß die Nadel und der Stab die nehmlichen Pole nach oben wenden, so begiebt sich die Nadel an das obere Ende der Röhre und ragt selbst noch etwas darüber hervor. Bei dem Schraubendrahte dagegen sinkt die Nadel bis zur Mitte und bleibt hier schweben, wenn der Strom stark genug ist.

Wir haben oben in §. 157 gesehen, daß ein bewegliches Rechteck, welches um eine verticale Axe drehbar ist, wenn durch dasselbe ein electrischer Strom geleitet wird, sich senkrecht auf die Ebene des magnetischen Meridians und zwar allemal so stellt, daß der electrische Strom die untere wagerechte Seite desselben in der Richtung von Osten nach Westen durchläuft. Die Erklärung dieser Erscheinung ergiebt sich aus der Ampère'schen Theorie in folgender Art: Es sei abcdfg, Fig. 172, das bewegliche Rechteck, durch welches ein electrischer Strom in der Richtung, welche die beigesetzten Pfeile anzeigen, geleitet wird. Wie wir bereits oben gesehen haben, gehen die electrischen Ströme, von welchen wir uns nach Ampère die Erde umkreist denken, von Osten nach Westen. Diese Richtung möge durch die

(Fig. 172.)



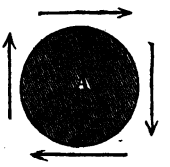
unterhalb des Rechtecks angebrachte Linie ausgedrückt sein. Da in den wagerechten Seiten des Rechtecks df und cd der electrische Strom eine entgegengesetzte Richtung hat, so muß die Wirkung des Erdstromes auf dieselben sich aufheben, indem eine Ungleichheit in der Entfernung derselben von dem Erdstrome offenbar nicht in Betracht kommen kann. Es bleibt daher nur noch die Einwirkung desselben auf die senkrechten Theile bc und df zu berücksichtigen. Zu Folge des in §. 158 aufgestellten zweiten Gesetzes wird bc von den westlich gelegenen Theilen des Erdstromes angezogen, von den östlich gelegenen abgestoßen, dagegen df von den östlich gelegenen Theilen des Erdstromes angezogen und von den westlich gelegenen abgestoßen. Das Rechteck muß daher durch die Einwirkung des Erdstromes in die in der Figur abgebildete Stellung geführt werden, so daß der electrische Strom in der unteren wagerechten Seite mit dem Erdstrome gleiche Richtung hat, also von Osten nach Westen geht.

Da das über das Rechteck Gesagte sich offenbar auch auf einen kreisförmig gebogenen Draht übertragen läßt, so muß ein in wagerechter Richtung drehbarer Schraubendraht sich so stellen, daß seine Windungen die Ebene des magnetischen Meridians senkrecht durchschneiden, und folglich seine Axe in diese Ebene, also mit der Richtung der Declinationsnadel zusammenfällt.

§. 160. Electromagnetische Rotationen.

Es sei A (Fig. 173) der senkrechte (im vergrößerten Maaßstabe) abgebildete Durchschnitt eines Drahtes, welchen der electrische Strom, wie wir annehmen wollen, in der Richtung von der vorderen nach der hinteren Seite des Papiers durchläuft; dann wird der Nordpol einer über, unter oder neben dem Drahte angebrachten Magnetnadel, zu Folge der §. 149 angegebenen Regel, in der Richtung abgelenkt, wie dieses die der Figur beigefügten Pfeile anzeigen, während der Südpol gerade nach der entgegengesetzten Richtung abgelenkt wird. Der bloße Anblick der Figur führt auf die Vermuthung, daß der electrische Strom den Nordpol, wenn er sich frei bewegen könnte, in einem Kreise um den Draht in der Richtung, welche die Pfeile zeigen, den Südpol aber in der entgegengesetzten Richtung herumführen würde. Diese Vermuthung kann in der That durch den Versuch bestätigt werden.

(Fig. 173.)



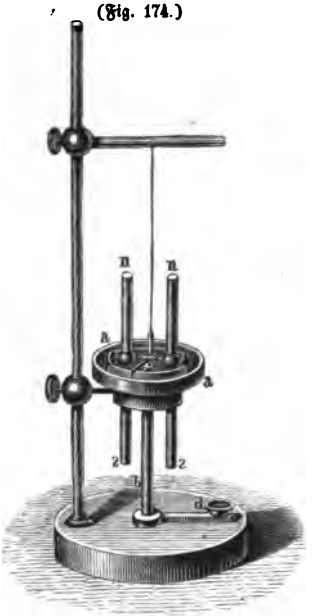
Führt man nehmlich einen electrischen Strom in paralleler Richtung mit der Axe eines Magnetstabes neben der einen Hälfte, z. B. neben der nördlichen Hälfte desselben her und trifft die Einrichtung so, daß sich der Magnetstab im Kreise um den electrischen Strom bewegen kann, so sieht man denselben bei geschlossener Kette um den festen Strom in einer Richtung rotiren, welche der Ampère'schen Regel entspricht. Die kreisende Bewegung erfolgt in der entgegengesetzten Richtung, wenn man die Richtung des Stromes umkehrt. Dasselbe ist der Fall, wenn der Strom nicht neben der Nord-, sondern neben der Südhälfte des Magnetstabes her geführt wird.

Ist dagegen der Magnetstab fest und der Strom, welcher längs der einen Hälfte des Magnetstabes hergeht, beweglich, so umkreist der bewegliche Strom den festen Magnetpol in einer Richtung, welche der in den angeführten Versuchen beobachteten entgegengesetzt ist.

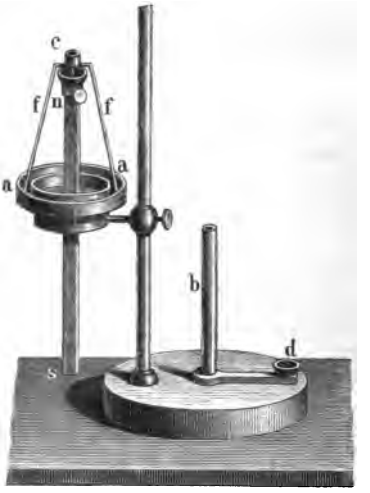
Zur Ausführung des ersten der so eben besprochenen Versuche kann der in Fig. 174 abgebildete Apparat dienen. An einem feinen Faden ist ein Metallstäbchen aufgehängt, welches unten in eine Spitze endet, mit der es in Quecksilber taucht, welches sich in einer Höhlung am oberen Ende eines metallenen Stabes b befindet. Mit dem Metallstäbchen ist in horizontaler Richtung ein Querstab fest verbunden, durch dessen kugel-

förmige Enden zwei Magnetstäbe in senkrechter Richtung so gesteckt sind, daß beide die gleichnamigen Pole nach oben und unten wenden. Von der Mitte des Querstabes aber geht ein an demselben befestigter Draht aus, welcher mit der herabgebogenen Spitze in das Queckfilber der kreisförmigen Rinne aa taucht. Verbindet man nun das Queckfilber dieser Rinne mit dem einen Pole und das Queckfilberschälchen d, welches mit der metallenen Säule b in leitender Verbindung steht, mit den anderen Polen einer galvanischen Batterie, so wirkt der durch die Säule b gehende Strom auf die nach unten gerichteten Pole beider Magnetstäbe und treibt dieselben zur rotirenden Bewegung an.

(Fig. 174.)



(Fig. 175.)



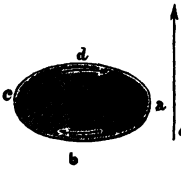
Das nehmliche Stativ läßt sich auch für den entgegengesetzten Versuch, die Rotation eines beweglichen Stromes um einen festen Magnetpol zu zeigen, benutzen. Zu diesem Zwecke wird in der Rinne aa, Fig. 175, eine Korkscheibe angebracht und durch deren Mitte ein verticaler Magnetstab gesteckt. Dieser trägt an seinem oberen Ende ein Queckfilberschälchen, auf welchem vermittelst einer feinen Spitze ein kupferner Bügel ff balancirt, welcher oben ebenfalls ein Queckfilberschälchen c trägt, mit den Spitzen der abwärts gehenden Schenkel aber in das Queckfilber der Rinne aa taucht. Wird dieses nun mit dem einen Pole der Batterie verbunden, während die Spitze des anderen Poldrahtes in das Queckfilber des Schälchens c taucht, so werden beide Schenkel des kupfernen Bügels von dem electrischen Strome in gleicher Richtung durchlaufen und daher auch von dem oberen Pole des Magnetstabes in gleichem Sinne zur rotirenden Bewegung angetrieben.

Endlich führen wir noch kurz an, daß auch ein Magnetstab, durch dessen eine Hälfte man einen electrischen Strom führt, zum Rotiren um seine Axe gebracht werden kann. (Auch für diesen Versuch läßt sich das in den beiden vorhergehenden Versuchen angewendete Stativ benutzen.)

Sowohl die Rotation eines beweglichen Stromes um einen festen Magnetpol, als eines beweglichen Magnetpols um einen festen Strom läßt sich nach der Ampère'schen Theorie leicht auf das Gesetz zurückführen, welches wir oben über die gegenseitige Anziehung und Abstoßung der Theile sich kreuzender Ströme mitgetheilt haben. Um dieses zu zeigen, sei abcd, Fig. 176, der wagerechte Durchschnitt eines Magnetpoles, welchen wir uns nach der Ampère'schen Theorie von electrischen Strömen in der Richtung abcd umkreist denken wollen, und ef ein durch einen senkrechten Draht aufwärts gehender

Strom. Dann muß zwischen dem Strome ef und dem Theile abc Anziehung und zwischen ef und cda Abstoßung stattfinden. Wenn daher, wie in dem zuletzt beschriebenen Versuche, der Draht ef sich um den festen Magnetpol bewegen kann, so muß er denselben in der Richtung abcd umkreisen. Ist dagegen der Draht ef fest und der Magnetpol abcd beweglich, wie in dem zuerst im Texte angeführten Versuche, so wird der Magnetpol um den festen Strom herumgeführt werden.

(Fig. 176.)



Da nach der Ampère'schen Theorie auch die Erde von electrischen Strömen umkreist ist, so begreift man hiernach ohne Schwierigkeit, daß auch ein leicht beweglicher Strom durch die bloße Einwirkung des Erdmagnetismus zum Rotiren gebracht werden kann. Weiter sieht man auch leicht ein, daß sich der feste Magnetpol durch einen kreisförmig circulirenden electrischen Strom, z. B. durch einen spiralförmig gewundenen Kupferdraht oder Streifen, dessen Windungen durch Seide gehörig isolirt sind, und durch welchen man einen electrischen Strom führt, ersetzen läßt, und daß dieser ebenfalls ein Rotiren des beweglichen Drahtes ef herbeiführen muß.

§. 161. Electrische Induction.

Wir haben oben §. 130 gesehen, daß der Entladungsstrom einer electrischen Flasche in einem benachbarten geschlossenen Leiter einen electrischen Nebenstrom hervorruft, welcher, wenn auch in schwächerem Maaße, alle Erscheinungen des Hauptstroms zeigt. Dasselbe ist, (wie Faraday zuerst 1831 gezeigt hat), auch dann der Fall, wenn in der Nähe eines geschlossenen Leiters ein galvanischer Strom entsteht oder verschwindet, oder wenn dem Leiter ein galvanischer Strom genähert oder von demselben entfernt wird.

Faraday nennt den durch Einwirkung eines electrischen Stromes entstehenden secondären Strom den inducirten, den primären Strom aber den inducirenden.

Um die Erscheinungen des durch einen galvanischen Strom inducirten Nebenstromes zu zeigen, umwindet man zwei hölzerne Spulen mit umsponnenem Kupferdrahte. Bringt man nun die Enden des Drahtes der einen Rolle mit den Polen einer galvanischen Batterie, die Enden des Drahtes der anderen Rolle mit den Enden des Drahtes eines Multiplicators in leitende Verbindung, so erleidet die Multiplicatornadel eine Ablenkung, so wie man die eine Rolle der andern nähert. Die Nadel kehrt zu ihrer normalen Lage zurück, wenn man die Rollen einander nicht weiter nähert, und sie erfährt eine Ablenkung nach der entgegengesetzten Seite, wenn man die Drahtrollen von einander entfernt. Hat man die Rollen einander genähert und die Drähte der einen Rolle mit den Drähten des Multiplicators verbunden, und bringt man erst jetzt die Drähte der andern Rolle mit den Polen der galvanischen Batterie in Verbindung, so erleidet die Multiplicatornadel in dem Moment, in welchem die Kette geschlossen, also der inducirende Strom hervorgerufen wird, eine Ablenkung nach derselben Seite, nach welcher sie vorher bei Annäherung der Rollen abgelenkt wurde, und sie erfährt eine Ablenkung nach der entgegengesetzten Seite in dem Augenblicke, in welchem man die Kette öffnet, (den inducirenden Strom unterbricht.)

Aus der Ablenkung der Magnetnadel ergiebt sich, daß der bei der Annäherung des inducirenden Stromes oder bei Schließung der Kette entstehende inducirte Strom die entgegengesetzte Richtung von dem inducirenden, der aber bei Entfernung des inducirenden Stromes oder bei Oeffnung der Kette entstehende

inducirte Strom die nehmliche Richtung, wie der inducirende Strom hat.

Der durch einen galvanischen Strom hervorgerufene inducirte Strom zeigt nicht bloß magnetische Wirkungen, sondern vermag auch, eben so wie der durch den Entladungsstrom der electrischen Flasche erzeugte Nebenstrom, alle anderen Erscheinungen des Hauptstromes, ins Besondere electrische Funken, Erschütterungen u. s. w. hervorzubringen und befolgt im Allgemeinen die im §. 130 über den Nebenstrom angegebenen Gesetze.

Die inducirten Ströme unterscheiden sich von den gewöhnlichen galvanischen Strömen darin, daß sie nur eine vorübergehende oder momentane Dauer haben; sie übertreffen dieselben in dem Vermögen, Leitungswiderstände zu überwinden; die inducirten Ströme lassen sich daher ohne beträchtliche Schwächung durch feine Drähte oder unvollkommene Leiter, wie z. B. den menschlichen Körper, fortführen und zeigen deshalb auch vorzüglich lebhafte physiologische Wirkungen.

Bei den Versuchen über die electrische Induction wendet man am zweckmäßigsten zwei Drahtspiralen an, von denen die eine auf einen hohlen hölzernen Cylinder gewunden ist, dessen Höhlung eine solche Weite hat, daß sich die andere Spirale, welche einen Cylinder von gleicher Höhe, aber kleinerem Durchmesser bildet, in dieselbe einsenken läßt. Da die Stärke des inducirten Stromes im Allgemeinen mit der Zahl der Windungen der Spiralen zunimmt, andererseits ein galvanischer Strom in einem langen dünnen Drahte vermöge des Leitungswiderstandes desselben eine bedeutende Schwächung erfährt, während dies in viel geringerem Maaße bei dem inducirten Strome der Fall ist, so wendet man für die Fortleitung des galvanischen inducirenden Stromes einen kürzeren, dickeren Kupferdraht (von etwa 100 bis 200 Fuß Länge und 1 Linie Dicke), für den inducirenden Strom einen längeren dünneren Draht (von etwa 1000 bis 2000 Fuß Länge und $\frac{1}{4}$ Linie Dicke) an. — Will man nur diejenigen Erscheinungen zeigen, welche beim Eintreten und Verschwinden des galvanischen Stromes entstehen, so kann man beide Drähte unmittelbar über einander auf die nehmliche Spule wickeln. Man erhält dann, weil beide Drähte einander möglichst nahe gebracht sind, besonders kräftige Wirkungen. Verbindet man die Enden des dicken Drahtes mit den Polen einer galvanischen Batterie und nähert die Enden des dünnen Drahtes einander bis auf einen kleinen Abstand, so sieht man zwischen denselben bei jedem Oeffnen und Schließen der Kette des galvanischen Stromes einen Funken überspringen; hat man aber die Enden des dünnen Drahtes oder noch besser mit denselben verbundene metallene Griffe mit den Händen angefaßt, so empfindet man jedesmal eine Erschütterung u. dgl. m.

Die Wirkung, welche zwei Inductionsspiralen auf einander ausüben, wird geschwächt, wenn sich in ihrer Nähe oder zwischen denselben ein geschlossener Leiter, z. B. eine geschlossene Drahtspirale oder eine Metallplatte befindet. Es dürfen daher auch die Spiralen, welche zu Inductionsversuchen dienen sollen, nicht auf metallene Hülsen gewunden sein. Der störende Einfluß metallener Hülsen wird beseitigt, wenn man dieselben aufschlitzt.

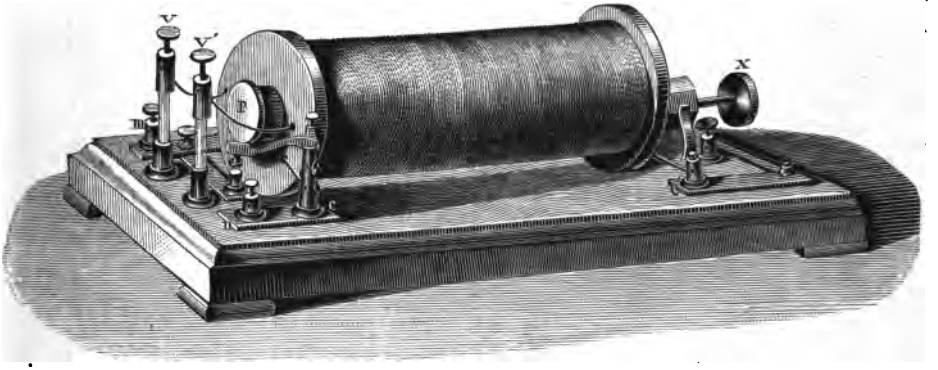
Faraday hat auch gefunden, daß ein electrischer Strom nicht bloß in benachbarten Leitern, sondern auch in dem Leiter selbst, welchen er durchläuft, einen inducirten Strom erregt, welchen Faraday den Extrastrom nennt. Man kann diesen Strom als eine Wirkung, welche die einzelnen Windungen der Drahtspirale auf einander ausüben, ansehen, oder man kann sich auch den Draht aus solchen Theilen bestehend denken, welche von dem electrischen Strome durchlaufen werden, und aus solchen, durch welche der Strom nicht geht, und in denen derselbe daher beim Oeffnen und Schließen der Kette einen inducirten Strom hervorruft. Eine Wirkung dieses Extrastromes sind folgende Erscheinungen: Wenn man eine einfache Kette durch einen kurzen Draht schließt, so bemerkt man beim Oeffnen der Kette nur einen schwachen Funken; eine Erschütterung nimmt man nicht wahr, auch wenn man die Drähte in den angefeuchteten Händen hält. Hat man aber die Kette durch einen langen spiralförmig aufgewundenen (übersponnenen) Draht geschlossen, so zeigt sich beim Oeffnen derselben ein weit lebhafterer Funke, und wenn man die Drähte in den angefeuchteten Händen hält, oder wenn man mit diesen verbundene größere Metallstücke angefaßt hat, welche an die Drähte angelöthet sind, so empfindet man beim Oeffnen der Kette eine heftige Erschütterung. Beim Schließen

der Kette findet keine erhebliche Wirkung statt, weil hierbei der inducirende und der inducirte Strom entgegengesetzte Richtung haben, also sich gegenseitig schwächen. Beim Oeffnen der Kette dagegen haben beide Ströme dieselbe Richtung, daher die verstärkte Wirkung.

Diese Wirkung wird noch erhöht, wenn innerhalb der Hülse, um welche der Draht gewunden ist, sich ein Cylinder aus weichem Eisen oder noch besser ein Bündel überfirnißter Stäbe aus weichem Eisen befindet. Den Grund dieser Erscheinung werden wir im folgenden Paragraphen kennen lernen.

Man benutzt den Extrastrom vorzüglich bei den kleinen Inductionsapparaten, welche Neeff (zuerst 1838) mit Benutzung des Wagner'schen Hammers (s. unten) construirt hat. Da diese Apparate jedoch hauptsächlich nur für medicinische Zwecke bestimmt sind, so verweilen wir bei denselben nicht und gehen sogleich zur Beschreibung des durch die kräftigsten und überraschendsten Wirkungen ausgezeichneten Apparates von Rhumkorff über, welchen derselbe zuerst 1851 ausgeführt hat, und den Fig. 177 in perspectivischer

(Fig. 177.)



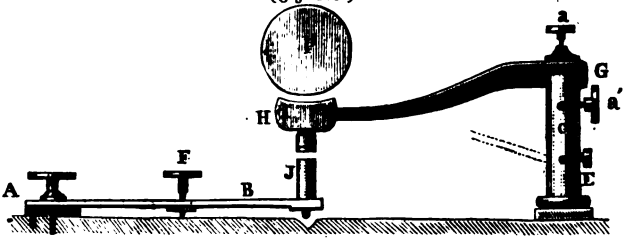
Ansicht darstellt. Wir unterscheiden an diesem Apparate folgende drei Haupttheile: die Inductionsrolle, den electromagnetischen Hammer, welcher sich an dem einen Ende des Apparates, in unserer Figur an der linken Seite befindet, und den Commutator, welcher am anderen Ende des Apparates, also in unserer Figur an der rechten Seite, angebracht ist.

Die Inductionsrolle besteht aus einer dünnen Spule von Pappe; um diese ist zunächst ein gehörig isolirter, 2 Millimeter (ohngefähr 1 Linie) dicker und verhältnißmäßig kurzer Draht gewickelt, durch welchen der galvanische Strom geführt wird; über diesen dickeren und kürzeren Draht ist dann ein äußerst feiner 8 bis 10 Kilometer, (also mehr als eine geogr. Meile) langer und mit Seide umsponnener Draht gewunden. An den Enden der Rolle sind zur Befestigung des Ganzen zwei Scheiben, gewöhnlich von dickem Glase angebracht, in welche Löcher eingebohrt sind, durch welche die Enden der Drähte gehen. Innerhalb der Spule aber befindet sich ein Bündel von Eisendrähten, dessen Enden mit Platten von weichem Eisen bedeckt sind.

Der magnetische Hammer oder Stromunterbrecher, welcher die Bestimmung hat, den galvanischen Strom in raschester Folge zu unterbrechen und wieder herzustellen, ist von Wagner in Frankfurt erfunden und durch Neeff (1839) beschrieben worden und hat seitdem bei mannigfaltigen electromagnetischen Apparaten Anwendung gefunden. Die Einrichtung desselben bei dem Rhumkorff'schen Apparat zeigt die (nach etwas größerem Maaßstabe ausgeführte) Fig. 178. Ein metallischer Hebel GH ruht mit dem einen Ende G, um welches er äußerst leicht drehbar ist, auf der ebenfalls metallischen Säule o; um zwischen beiden eine vollkommen leitende Verbindung herzustellen, ist in dieselben ein feiner Silberdraht mit seinen Enden durch die Schrauben a und a' eingeklemmt. An dem andern Ende H des Hebels ist an denselben ein weiches Eisenstückchen, der Hammer, befestigt, an welchem unten eine kleine Kupferplatte angelöthet ist, welche selbst wieder mit einem Platinblättchen bedeckt ist. Unter dem Hammer H befindet sich ein kupfernes Säulchen J (der Amboß), welches oben ebenfalls mit einem Platinblättchen bedeckt ist, mit seinem unteren Ende aber auf einem Kupferstreifen AB aufsteht, welcher

durch die Schraube F etwas gehoben oder gesenkt werden kann, wodurch sich der Abstand zwischen dem Hammer und Amboß etwas vermindern oder vergrößern läßt. So

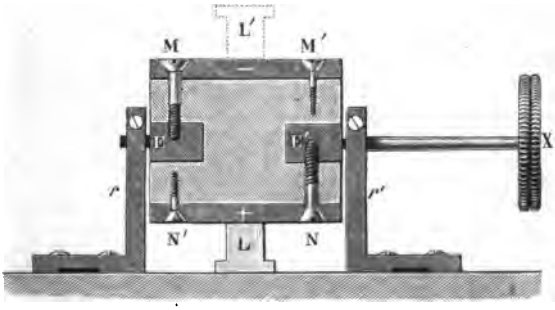
(Fig. 178.)



ange kein Strom durch die Kette geht, ruht der Hammer auf dem Amboß. — In geringem Abstande über dem Hammer H befindet sich der Pol P eines Electromagneten, in unserem Falle das eine aus der Inductionsrolle hervorragende und mit einer eisernen Kappe bedeckte Ende des Eisendrahtbündels. Das eine Ende des dickeren, das Eisendrahtbündel zunächst umgebenden Drahtes ist bei E mit dem metallischen Säulchen c verbunden, das andere an der entgegengesetzten Seite der Inductionsrolle austretende Ende dieses Drahtes aber führt nach dem einen Pole der galvanischen Batterie, während der andere Pol derselben mit dem Kupferstreifen AB in leitender Verbindung steht. Nehmen wir an, daß der erstere Pol der positive, der letztere der negative ist, so geht der electrische Strom zunächst durch den dickeren Draht der Inductionsrolle und dann weiter über EGHJBA nach der Batterie zurück, da, wie schon oben bemerkt, im Zustande der Ruhe der Hammer H auf dem Amboß J aufliegt. Indem aber in Folge hiervon das Eisendrahtbündel magnetisch wird, wird der Hammer H von dem Pole P angezogen und die Berührung zwischen dem Hammer und dem Amboß aufgehoben. Da hiermit die Stromleitung unterbrochen ist, so verschwindet der Magnetismus in dem Eisendrahtbündel wieder und der Hammer H fällt auf den Amboß J herab. Indem aber so die Stromleitung aufs Neue hergestellt ist, wird der Hammer auch aufs Neue angezogen und das nehmliche Spiel wiederholt sich, wodurch in raschester Folge die Kette abwechselnd geschlossen und geöffnet wird. Man sieht hierbei zwischen Hammer und Amboß sowohl beim Schließen, als beim Oeffnen der Kette unausgesetzt kleine Funken überspringen. Dieselben werden jedoch verringert oder verschwinden, wenn der Draht der Inductionsrolle metallisch geschlossen ist.

Den dritten Theil des Rhumkorff'schen Apparates bildet der Commutator, Gyrotrop oder Stromwender, welcher die Bestimmung hat, den electrischen Strom bald in der einen, bald in der entgegengesetzten Richtung durch den Schließungsbogen der Batterie zu führen, ohne daß man nöthig hat, die Poldrähte selbst zu vertauschen. Der Commutator gehört überhaupt zu den Nebenapparaten der galvanischen Geräthschaft und kann in sehr mannichfaltiger Weise hergestellt werden. Bei dem Rhumkorff'schen Apparate, wo der magnetische Hammer an dem einen, der Commutator an dem entgegengesetzten Ende der Inductionsspirale angebracht ist, besteht derselbe aus einem um seine Axe drehbaren elfenbeinern. Cylinder, auf welchem zwei metallene Streifen MM' und NN' (Fig. 179*)

(Fig. 179.)

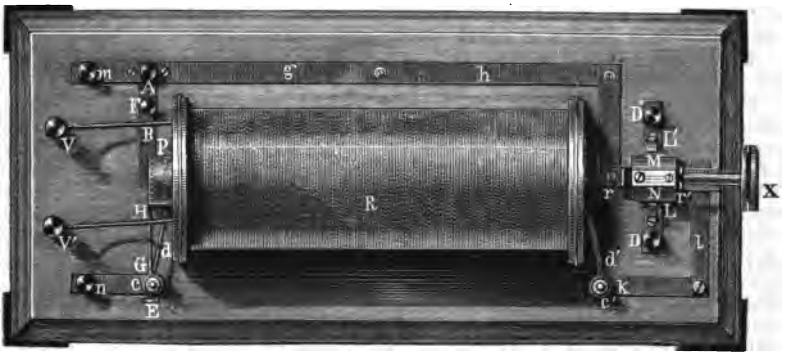


*) Auch diese Figur ist nach etwas größerem Maaßstabe ausgeführt.

durch Schrauben von ungleicher Länge befestigt sind. Die längeren Schrauben M und N reichen bis in die in den elfenbeinernen Cylinder eingesenkten, metallenen Drehungszapfen E und E'; die kürzeren Schrauben M' und N' erreichen diese Zapfen nicht, welche mit ihrer Axe auf zwei metallenen Stützen r und r' ruhen. An den Cylinder legen sich zwei metallene Federn L und L', welche an zwei metallenen Säulen D und D', Fig. 177 und 180, (in Fig. 177 ist nur eine dieser Säulen D sichtbar) befestigt sind, welche mit den Polen der Batterie in unmittelbarer Verbindung stehen, während das eine Ende d des inneren, dickeren Drahtes der Inductionsrolle mit der metallenen Stütze r, das andere Ende d' mit der anderen Stütze r' verbunden ist, wie dieses Fig. 180 ausführlicher zeigt. Nehmen wir nun an, daß der positive Pol der Batterie mit der Feder L, der negative Pol mit der Feder L' verbunden ist, so geht der positive Strom durch die Schraube N nach der Stütze r' und in das mit dieser verbundene Ende des dickeren Drahtes der Inductionsspirale, durchläuft denselben in der Richtung von r' nach r, gelangt dann durch die Schraube M nach der Feder L' und dem mit dieser verbundenen negativen Pole der Batterie, wenn der Cylinder des Commutators die in Fig. 179 abgebildete Stellung hat. Wird derselbe aber um 180° vermittelst des Handgriffes X gedreht, so muß der positive Strom den Draht der Inductionsspirale in der entgegengesetzten Richtung durchlaufen. Derselbe geht nehmlich jetzt von L über M nach r, durchläuft den Draht der Inductionsrolle von r nach r' und geht dann weiter von r' über N und L' nach dem negativen Pole der Batterie zurück.

In welcher Art aber die Stützen r und r' mit den Enden d und d' des inneren dickeren Drahtes verbunden sind, wird sich am deutlichsten aus Fig. 180 ergeben, welche

(Fig 180.)



den Apparat von oben gesehen darstellt. Die Stütze r' zunächst ist durch einen auf dem hölzernen Gestell aufgeschraubten Metallstreifen lk mit dem metallenen Säulchen c', an welchem das eine Drahtende d' befestigt ist, verbunden. Ein eben solcher Metallstreifen verbindet die andere Stütze r mit dem Ende A des Kupferstreifens AB, welcher am anderen Ende den Amboß (J Fig. 178) trägt. Dieser wird in der Ruhelage von dem Hammer berührt, dessen Hebelarm GH auf dem oberen Ende der metallenen Säule c ruht, an welcher unten das andere Drahtende d durch die Schraube E festgeklemmt ist.

An Fig. 180 knüpfen wir noch eine vollständige Angabe über den Verlauf, welchen der galvanische Strom durch die verschiedenen Theile des Apparates nimmt, indem wir hierbei annehmen, daß der Commutator die in Fig. 179 abgebildete Stellung hat, und daß der positive Pol mit der Säule D, der negative mit der Säule D' verbunden ist; dann ergiebt sich für den galvanischen Strom, wenn der Hammer auf dem Amboß aufliegt, also die Kette geschlossen ist, folgender Weg: DLr'lkc'd'doGHBAghrL'D'.

Ueber den äußeren sehr langen und feinen Draht, in welchem der inducirte Strom erregt werden soll, haben wir nur noch anzuführen, daß die Enden desselben an den metallenen Köpfen zweier gläsernen Säulchen V und V', Fig. 177 und 180, befestigt sind, welche wir im Folgenden als die beiden Pole des Apparates bezeichnen wollen. Die Klemmschrauben m und n aber, welche durch Metallstreifen mit dem Amboß und dem Hammer in Verbindung stehen, haben die Bestimmung, den Extrastrom auffangen zu können.

Endlich müssen wir noch als eines Nebenapparates, welcher jedoch wesentlich zur Steigerung der Wirkung des Hauptapparates beiträgt, des durch Fizeau hinzugefügten Condensators Erwähnung thun. Derselbe besteht aus zwei Staniolblättern von etwa 10 Fuß Länge und 1/2 Fuß Breite, welche durch einen etwas längeren und breiteren Streifen von Wachstaffet von einander getrennt sind. Dieser Condensator wird nun zwischen zwei eben solchen Streifen von Wachstaffet gelegt, dann zusammengefaltet und in einem Fach des hölzernen Gestelles des Apparates untergebracht. Die eine Belegung wird mit dem Amboß, die andere mit dem Hammer vermittelst der Klemmschrauben m und n, Fig. 177 und 180, in Verbindung gebracht, welche, wie schon oben bemerkt, für die Auffangung des Extrastromes bestimmt sind.

Von den äußerst mannigfaltigen und zum Theil noch nicht hinreichend aufgeklärten Wirkungen des Apparates müssen wir uns darauf beschränken, die folgenden hervorzuheben*), für deren Hervorrufung in der Regel ein galvanischer Strom, welchen ein oder zwei Grove'sche Elemente liefern, ausreicht.

Höchst kräftig sind zunächst die physiologischen Wirkungen. Als der französische Physiker Quet zufällig mit den Poldrähten des von Rhumkorff ausgeführten Apparates in Berührung kam, wurde er zu Boden geworfen, und er würde wahrscheinlich das Leben verloren haben, wenn nicht Rhumkorff zu Hülfe gekommen wäre. In Folge der heftigen Erschütterungen, welche er erfahren hatte, mußte er einige Zeit das Bett hüten, obschon die Batterie, durch welche der galvanische Strom erregt wurde, nur aus 6 Elementen bestand. — Man kann jedoch auch die physiologischen Wirkungen beliebig ermäßigen, indem man entweder den inducirten Strom durch Einschaltung eines Leitungswiderstandes, z. B. einer mit Wasser oder Spiritus gefüllten Röhre, schwächt; oder man verbindet die beiden Pole durch einen nicht sehr dicken und allzu kurzen Draht und bringt dann erst die Theile des menschlichen Körpers, durch welche man den Strom leiten will, mit den Polen in leitende Verbindung.

Die chemischen und magnetischen Wirkungen sind im Allgemeinen schwach und zum Theil schwieriger zu beobachten.

Großes Interesse gewähren dagegen die Licht- und Wärmeerscheinungen. Nähert man die Enden der Poldrähte einander bis auf einen kleinen Abstand, so sieht man zwischen denselben, wenn der Apparat in Thätigkeit ist, lebhafte Funken überspringen. Die Funken sind länger, wenn die Unterbrechungen des galvanischen Stromes zwischen Hammer und Amboß langsamer stattfinden, und können bis 1 Zoll Länge erreichen. Sie sind viel kürzer, aber kräftiger, wenn die Poldrähte in Kugeln enden. Sind an denselben sehr feine Eisendrähte angebracht, und werden diese einander bis auf einen kleinen Abstand genähert, so wird der mit dem negativen Pole (vergl. unten Spannungserscheinungen) verbundene feine Eisendraht glühend und verbrennt. Das Glühen hört auf, wenn die Drähte einander berühren. — Laufen die Poldrähte in Kohlenspitzen aus, so zeigt sich, wenn dieselben einander hinreichend genähert werden, ebenfalls an der mit dem negativen Pole verbundenen Spitze ein stark strahlender, vollkommen weißer Lichtschein, an der anderen Spitze dagegen nur ein röthlicher Schein.

Höchst prachtvoll sind die Lichterscheinungen im möglichst luftleeren Raume des electrischen Eies (vergl. oben Fig. 121 auf S. 176). Der Knopf des negativen Poles erscheint von einem bläulichen Lichte eingehüllt, der Knopf des positiven Poles aber von rothem Lichte umgeben, welches letztere in Schichten, die durch dunkle Streifen getrennt sind, sich nach dem negativen Pole hin ausbreitet. Die Erscheinung unterliegt mannichfachem Wechsel, wenn die Metallknöpfe im Ei einander genähert werden, wenn dem luftverdünnten Raume Dämpfe flüchtiger Substanzen, wie Terpentinöl, Alkohol, Naphta u. s. w. beigemengt sind, wenn die Unterbrechungen des galvanischen Stromes zwischen Hammer und Amboß rascher oder langsamer erfolgen, wenn der inducirte Strom einen bedeutenden Leitungswiderstand zu überwinden hat u. dgl. m.

Sind die beiden Pole des inducirten Stromes durch eine größere oder kleinere Luftschicht von einander getrennt, so treten an denselben electrische Spannungserscheinungen auf. Bringt man, während der Apparat in Thätigkeit ist, ein Electroscop mit einem der beiden Pole auf einen Augenblick in Berührung, so ladet sich dasselbe mit Electricität; es hängt jedoch ganz vom Zufall ab, ob diese positiv oder negativ ist. Nähert man aber das Electroscop dem einen Pole nur so weit, daß Funken

*) Ausführlicher handeln hierüber Pogg. Ann. B. 94, S. 289; B. 95, S. 156 und 163; B. 96, S. 352 und Bromeis und Bockelmann; Rhumkorff's Inductionsapparat. Frankfurt, 1857.

auf dasselbe überschlagen, so erhält man beständig aus dem einen Pole positive, aus dem andern negative Electricität und zwar diejenige, welche diesem Pole nach der Richtung zukommt, welche der inducirte Strom hat, der durch Oeffnung des galvanischen Stromes hervorgerufen wird. Daß der durch das Schließen des galvanischen Stromes erzeugte Strom hierbei keine Wirkung äußert, erklärt sich (nach Poggendorf) daraus, daß beim Schließen der Kette der Draht des galvanischen Stromes einen zusammenhängenden Leiter bildet, welcher, wie jeder in der Nähe eines inducirten Stromes befindliche geschlossene Leiter, verzögernd oder schwächend auf den inducirten Strom zurückwirkt.

Bringt man den einen Pol mit der Erde in leitende Verbindung, so ladet sich das dem anderen Pole genäherte Electroscop schon in größerer Entfernung, als in welcher Funken überschlagen, durch Ausstrahlung. — Hat man dem einen Pole durch Annäherung eines mit dem Erdboden verbundenen Leiters eine Zeit lang Funken entzogen, so zeigt sich nach Aufhören des Stromes die ganze Inductionsrolle mit der dem andern Pole entsprechenden Electricität geladen. —

Endlich wollen wir noch bemerken, daß die an den Drahtenden der Inductionsspirale auftretende Electricität an demjenigen Ende, welches von den äußeren Windungen herkommt, es mag dasselbe den positiven oder den negativen Pol bilden, eine größere Spannung besitzt, als an dem andern Ende, welches von den inneren Windungen entspringt, und daß sich daher jenem leichter, als diesem Funkem durch genäherte Leiter entziehen lassen.

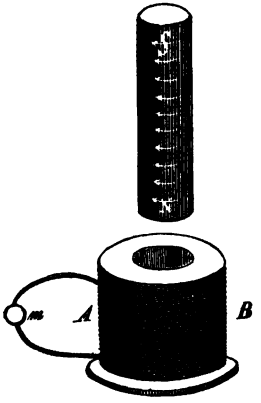
So wie nach dem Obigen jeder galvanische Strom nicht blos in genäherten geschlossenen Leitern, sondern auch in dem Leiter selbst, welchen er durchläuft, einen inducirten, den so genannten Extrastrom hervorruft, so wird, wie Rieß (1859) gezeigt hat, auch durch den Entladungsstrom einer electrischen Flasche oder Batterie in dem Schließungsbogen derselben ein Nebenstrom erregt.

§. 162. Magnetische Induction oder magnetelectrische Erscheinungen.

Nach der Ampère'schen Theorie haben wir uns jeden Magneten als einen Körper vorzustellen, dessen Theile von gleich gerichteten electrischen Strömen umkreist werden, deren Ebenen auf der Axe des Magneten senkrecht stehen. Hiernach müssen in einem Leiter der Electricität sowohl bei Annäherung, als bei Entfernung eines Magneten electrische Ströme inducirt werden. Dasselbe muß ferner stattfinden, wenn in einem Stabe aus weichem Eisen, welcher sich in der Nähe eines Leiters der Electricität befindet, vorübergehender Magnetismus erregt wird oder wieder aufhört.

Um die erste Hälfte der vorstehenden Behauptungen darzuthun, hat man nur nöthig, die Enden einer Drahtspirale AB (Fig. 181) mit einem Multiplicator m zu verbinden. Nähert man dann dieser Spirale einen Magnetstab NS oder taucht man denselben bis gegen seine Mitte in die Hülse der Drahtrolle, so erleidet auch die Magnetnadel des Multiplicators eine Ablenkung, und sie wird nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt, so wie man den Magnetstab entfernt oder aus der Drahtrolle herauszieht. Dasselbe ist auch dann der Fall, wenn man den Magnetstab bedeutend tiefer, als bis zur Mitte einsenkt, indem die untere Hälfte des Magneten sich dann von den Windungen der Drahtspirale wieder entfernt.

(Fig. 181.)

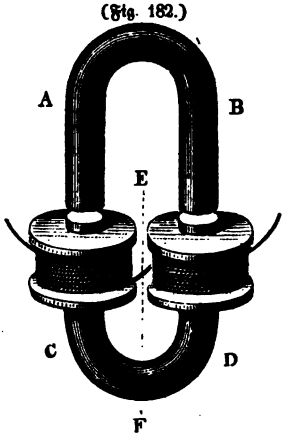


Es leuchtet wohl von selbst ein, daß man bei den in diesem und im vorhergehenden Paragraphen beschriebenen Versuchen deßhalb

gewundene Drähte angewendet, weil diese nach dem Princip des Multiplicators die Wirkung verstärken. Man kann indeß bei Anwendung eines sehr empfindlichen Multiplicators auch die inducirten Ströme nachweisen, welche in einem einfachen Drahte bei Annäherung oder Entfernung eines Magneten entstehen.

Um die zweite Hälfte der obigen Behauptung nachzuweisen, dient am bequemsten der folgende Apparat: Ein kräftiger Stahlmagnet AB (Fig. 182) und ein Cylinder CD aus weichem Eisen sind in der Art hufeisenförmig gebogen, daß die Enden ihrer Schenkel grade aufeinander passen. Die beiden Schenkel C und D sind mit einem übersponnenen Drahte so umwunden, daß, wenn man durch denselben einen electrischen Strom leitete, die Enden der Schenkel entgegengesetzte Pole erhalten würden (indem nehmlich der Draht von der vorderen Seite des einen Schenkels nach der hinteren Seite des andern Schenkels übergeht). Verbindet man nun die Enden dieses Drahtes in hinreichender Entfernung von beiden Hufeisen mit den Enden eines Multiplicators oder auch nur mit den Enden eines Drahtes, welcher über oder unter einer Magnetnadel herläuft, so erfährt dieselbe bei der Annäherung des Stahlmagneten an das umwundene Eisen, besonders aber beim Anlegen eine Ablenkung, kommt jedoch nach einigen Schwankungen wieder zur Ruhe. Reißt man hierauf das eine Hufeisen vom andern los, so wird die Nadel nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt — Nähert man beide Enden des umwundenen Drahtes einander bis auf einen sehr kleinen Abstand, so sieht man zwischen denselben bei jedem Anlegen und Losreißen der beiden Hufeisen einen lebhaften Funken überspringen. Sind an den Enden des Drahtes größere Metallstücke angelöthet, und nimmt man diese in die Hände, so empfindet man beim Anlegen des weichen Eisens an den Magneten und beim Losreißen eine Erschütterung.

(Fig. 182.)



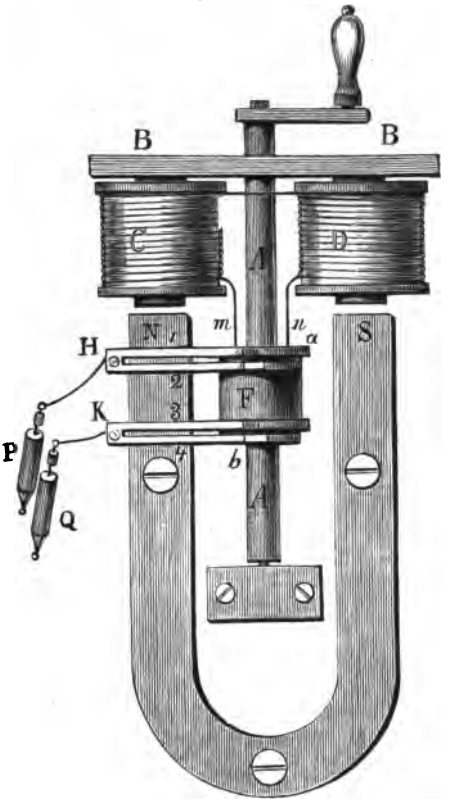
Aus den angeführten Erscheinungen ergiebt sich nun auch leicht, warum bei den am Ende des vorhergehenden Paragraphen beschriebenen Versuchen durch die in der Inductionsrolle angebrachten Stäbe aus weichem Eisen die Wirkung verstärkt wird. Indem nehmlich der in diesen durch den electrischen Strom erregte Magnetismus beim Oeffnen der Kette verschwindet, veranlaßt er, wie wir so eben gesehen haben, in der Drahtspirale einen inducirten Strom, welcher mit dem primären Strome und also auch mit dem das Oeffnen der Kette begleitenden Extrastrome dieselbe Richtung hat und daher diesen verstärkt. Drahtbündel gewähren hierbei vor massiven Eisenkernen darum einen Vorzug, weil in jenen der Magnetismus schneller erregt wird und wieder verschwindet, als in diesen.

Wenn man das hufeisenförmige mit einer Drahtspirale umwundene Eisen CD in Fig. 182 mit einer verticalen Axe FF verbindet, um welche sich dasselbe so drehen läßt, daß seine Enden ganz nahe unter den Polen des festen Magneten AB hergleiten, so müssen in dem Drahte bei jeder ganzen Umdrehung zwei Ströme von entgegengesetzten Richtungen inducirt werden, nehmlich der eine, während sich der Schenkel C dem Nordpole und D dem Südpole des Magneten AB nähert, und der andere, während sich C dem Südpole und D dem Nordpole nähert. Diese Ströme werden sich also um so schneller folgen, je rascher die Umdrehung geschieht.

Auf diesem Principe beruhen die magnetelectrischen Maschinen. Fig. 183 stellt die wesentlichen Theile einer solchen dar, wie sie von Stöhrer in Leipzig construirt werden. Auf der Eisenplatte BB sind zwei Cylinder aus weichem Eisen befestigt, welche

von den beiden Inductionsspiralen C und D umgeben sind, deren Draht, wie dieß schon oben im Haupttexte angegeben ist, ein zusammenhängendes Ganze bildet. Die Enden der beiden Eisencylinder befinden sich den Polen eines kräftigen Stahlmagneten N und S

(Fig. 183.)



(Fig. 184.)

(Fig. 185.)

gegenüber und besitzen daher die entgegengesetzten magnetischen Pole; sie müssen aber bei jeder halben Umdrehung der Axe AA, mit welcher die Eisenplatte BB fest verbunden ist, ihre Pole wechseln und folglich in den Drahtspiralen, wenn die Enden m und n leitend verbunden sind, einen electrischen Strom mit abwechselnd entgegengesetzter Richtung induciren.

Diese Umdrehung der Axe AA würde vermittelst der in der Figur abgebildeten Kurbel sich nur mit mäßiger Geschwindigkeit bewerkstelligen lassen. Um eine größere Schnelligkeit zu erzielen, ist an der Axe AA eine kleine Scheibe angebracht und diese durch einen Schnurlauf mit einer größeren Scheibe verbunden, an welcher die Umdrehungskurbel befestigt ist, was jedoch, als unwesentlich, in der Zeichnung weggelassen ist.

An der Axe AA sind ferner zwei in Fig. 184 und 185 besonders abgebildete messingene Röhren befestigt, welche von einander durch ein zwischen denselben angebrachtes Buchsbaumrohr, welches in Fig. 185 ganz schwarz gemacht ist, getrennt und gegenseitig isolirt sind. Mit dem äußeren und kürzeren Messingrohre F ist der Draht m, mit dem inneren und längeren G der Draht n fest verbunden. Jedes der beiden Rohre trägt an seinen Enden zwei halbe, sich gegenüberstehende Stahlringe, das innere die beiden halben Ringe a und b, das äußere die beiden halben Ringe c und d. Auf diesen Ringen schleifen abwechselnd die Schenkel zweier sich gabelförmig spaltenden flachen Stahlfedern H und K, welche an dem Gestell der Maschine befestigt sind. Bei der in Fig. 183 abgebildeten Stellung berühren die Federn 2 und 4 die Stahlringe c und b, während 1 und 3 frei sind. Es ist daher bei dieser Stellung H mit m und K mit n leitend ver-

bunden. Nach einer halben Umdrehung der Axe AA aber treten die Federn 1 und 3 mit den Ringen a und d in Berührung, und 2 und 4 sind frei; es stehen also dann H mit n und K mit m in Verbindung.

Wenn nun die Stahlfedern H und K durch irgend einen Körper leitend verbunden werden, so geht bei jeder halben Umdrehung der inducirte Strom durch den eingeschalteten Körper und zwar jedesmal in derselben Richtung, indem nehmlich, wie wir oben gesehen haben, die Richtung des inducirten Stromes in den Drahtspiralen bei jeder halben Umdrehung sich umkehrt und gleichzeitig auch die leitende Verbindung zwischen den Drahtenden m und n und den Stahlfedern H und K wechselt.

Da jeder der Stahlringe a, b, c und d etwas mehr, als den halben Umfang der Messingrohre F und G umfaßt, so müssen bei jeder Umdrehung für einen Augenblick alle 4 Stahlfedern mit den Stahlringen in Berührung treten. Da dann die Drahtenden m und n, sowohl durch die Gabeln 1 und 2, als auch durch 3 und 4 leitend verbunden sind, so nimmt der inducirte Strom für einen Augenblick seinen kürzeren Weg durch diese, ohne den zwischen H und K eingeschalteten Körper zu durchlaufen.

Jedesmal, wenn bei der Umdrehung der Axe AA ein Stahlring die ihn berührende Stahlfeder verläßt und also an dieser Stelle der Strom unterbrochen wird, zeigt sich ein lebhafter Funken. Wenn ein Mensch die durch Drähte mit den Stahlfedern H und K verbundenen metallenen Cylinder P und Q mit den Händen festhält, so empfindet derselbe bei jeder dieser Unterbrechungen einen electrischen Schlag. Diese Schläge werden um so heftiger empfunden, je rascher die Umdrehung geschieht, und werden bei kräftigen Maschinen bald unerträglich. — Wenn man bei einer kräftigen Maschine die Stahlfedern H und K durch einen feinen Platindraht verbindet, so geräth derselbe bei rascher Umdrehung in lebhaftes Glühen. Wasser kann in seine Bestandtheile zerlegt werden, wenn man in dasselbe Drähte leitet, welche mit den Stahlfedern H und K verbunden sind. Ein Electromagnet erlangt eine bedeutende Tragkraft, wenn man durch den ihn umwindenden Draht die inducirten Ströme hindurchführt. Ueberhaupt lassen sich mit der magnetelectrischen Maschine ähnliche physiologische, erhitzende, chemische und magnetische Wirkungen, wie durch eine galvanische Batterie, hervorbringen.

Wir haben oben §. 160 gesehen, daß ein um seine Axe drehbarer Magnetstab in rotirende Bewegung versetzt wird, wenn man durch die eine Hälfte desselben in der Richtung der Axe einen electrischen Strom hindurch gehen läßt. Faraday hat gezeigt, daß umgekehrt ein um seine Axe rotirender Stab in einem Drahte, welcher mit einem Ende den einen Pol, mit dem andern Ende eine zwischen beiden Polen liegende Stelle des rotirenden Magneten berührt, inducirte Ströme hervorruft. Die Richtung dieser Ströme geht bei Umkehrung der Drehung in die entgegengesetzte über.

Auf der Induction beruhen auch die Erscheinungen des so genannten Rotationsmagnetismus, welche zuerst von Arago in Paris im Jahre 1825 entdeckt worden sind.

Wenn man nehmlich über einer wagerechten Kupferscheibe, welche sich rasch um eine verticale Axe drehen läßt, eine Magnetnadel aufhängt, welche man zur Abhaltung des Luftzuges in ein Gehäuse von Glas eingeschlossen hat, und hierauf die Scheibe in eine rotirende Bewegung setzt, so wird die Magnetnadel in der Richtung, in welcher sich die Scheibe bewegt, abgelenkt. Diese Ablenkung ist um so größer, je schneller die Scheibe rotirt. Nimmt man statt Kupfer irgend ein anderes Metall, so erhält man ähnliche, aber in den meisten Fällen schwächere Wirkungen. Die stärksten Ablenkungen bringt eine Scheibe von Eisen hervor. Scheiben von schlecht leitenden Substanzen, wie Glas, Holz u. dgl., sind ohne Wirkung.

Umgekehrt kann man auch eine bewegliche Scheibe durch Rotation eines Magneten in Bewegung setzen.

§. 163. Thierische Electricität.

Einige Fische, ins Besondere der Zitterrochen, Zitteraal, Zitterwels, besitzen die merkwürdige Eigenschaft, wenn man sie berührt, electrische Schläge zu ertheilen. Man erhält diese Schläge so wohl, wenn man den Fisch unmittelbar mit der Hand, als auch, wenn man ihn mit einem Metalle berührt; sie bleiben jedoch aus, wenn die Berührung mit einem schlechten Leiter der Electricität, z. B. mit einem Glasstabe geschieht. Die Schläge können von dem Fische ganz willkührlich ertheilt werden und sind beim Zitterrochen besonders dann sehr stark, wenn man den Fisch zugleich am Bauch und am

Rücken berührt. Man hat durch diese Schläge selbst Funken, magnetische und chemische Wirkungen hervorgebracht, indem man an dem Rücken und Bauche Metallplatten anlegte und dieselben durch einen Draht verband.

Das electrische Organ der Fische hat bei den verschiedenen Arten eine verschiedene Lage, bei allen aber besteht dasselbe aus zahlreichen rundlichen oder eckigen Säulchen, welche aus vielen dünnen Blättchen, zwischen denen sich eine schleimichte Flüssigkeit befindet, zusammengesetzt sind. Die einzelnen Säulchen sind durch eine sehnichte Haut von einander getrennt. Beim Zitterrochen, welcher sich im Mittelmeer findet, sind die parallelen Axen derselben vom Rücken nach dem Bauche, beim Zitteraal vom Kopfe nach dem Schwanze hin gerichtet. Die electrischen Schläge sind ins Besondere bei dem letztern, welcher die Gewässer Südamerika's bewohnt, so kräftig und betäubend, daß sie selbst größeren Thieren gefährlich werden können. Hat der Fisch mehrere Schläge ertheilt, so bedarf er längerer Ruhe um neue Kraft zu sammeln.

Auch in den Nerven und Muskeln aller anderen Thiere, so wie auch des Menschen, finden, wenn auch bei weitem schwächer electrische Erregungen und Strömungen statt. Schon Galvani fand, daß, wenn der Nerv und Muskel eines Froschschenkels durch das nehmliche Metall oder durch einen flüssigen Leiter verbunden werden, eine Zuckung eintritt. In neuerer Zeit hat Dü Bois-Reymond über diesen Gegenstand die umfassendsten Untersuchungen angestellt. Derselbe hat ins Besondere gefunden, daß durch die Anstrengung der Muskeln nach Willkühr electrische Ströme hervorgerufen werden können.

Um dieses zu zeigen, bringt man die in Platinplatten auslaufenden Drahtenden eines sehr empfindlichen Multiplicators in zwei Gefäße mit Salzwasser und taucht in die nehmlichen Gefäße die beiden Hände, dann erleidet die Multiplicatornadel eine Ablenkung, wenn die Muskeln des einen Armes stärker, als die des andern angestrengt werden. Diese Ströme sind jedoch sehr schwach, und es erfordern daher die Versuche zu ihrem Gelingen einen äußerst empfindlichen Multiplicator und große Vorsicht in der Behandlung der Apparate, weil auch leicht irgend eine andere Verschiedenheit zwischen zwei homologen Gliedern der Kette, durch welche der Strom hindurchgeführt wird, für sich schon einen electrischen Strom zu erzeugen vermag.

Der Draht des von Dü Bois angewendeten Multiplicators hatte eine Länge von 1000 Meter (3078 par. Fuß) und machte 4650 Windungen.

*§. 164. Historische Uebersicht.

600 v. Chr. Die alten Griechen kannten die electrische Eigenschaft des Bernsteins.

1600 n. Chr. Gilbert in England vermehrt das Verzeichniß der electrischen Körper.

1729. Gray in England unterscheidet electrische Leiter und Nichtleiter

1733. du Fay in Frankreich entdeckt die entgegengesetzten Electricitäten.

1744. Deutsche Physiker verfertigen die erste Electrisirmaschine mit Conductor.

1745. v. Kleist in Pommern erfindet die electrische Flasche.

1752. Franklin in Amerika weist die electrische Natur des Gewitters nach und erfindet den Blitzableiter.

1753—1759 (?) Canton, Wilke und Aepinus ermitteln das Princip der electrischen Vertheilung oder Influenz.

1775. Volta in Pavia erfindet den Electrophor.

1782. Derselbe den Condensator.

1786. Galvani zu Bologna entdeckt die nach ihm benannte Electricitätserregung.
1787. Coulomb in Frankreich mißt die electrische Kraft mit der Drehwage.
1800. Volta baut seine Säule auf.
1807. Davy in England stellt die Metalle der Alkalien und Erden dar.
1820. Oersted in Kopenhagen entdeckt die Einwirkung des electrischen Stromes auf die Magnetnadel, und Schweigger in Halle erfindet noch in demselben Jahre den Multiplicator.
1821. Seebeck in Berlin entdeckt die thermoelectrischen Ströme.
1823. Ampère in Frankreich zeigt die gegenseitige Wirkung electrischer Ströme auf einander und führt die Erscheinungen auf ein allgemeines Gesetz zurück.
1827. Ohm in Erlangen entdeckt das Gesetz über die Stärke des electrischen Stromes.
1831. Faraday in England entdeckt die inducirten Ströme.
1833. und folg. Verschiedene Physiker (Gauß und Weber in Göttingen, Steinheil in München, Wheatstone in England, Morse in Amerika u. a. m.) stellen electrische Telegraphen her.
1834. Nobili in Florenz construirt den Thermomultiplicator.
1838. Jacobi in Dorpat und Spencer in England erfinden fast gleichzeitig die Galvanoplastik.
1845. Faraday bewirkt durch den electrischen Strom eine Veränderung (Drehung) des polarisirten Lichtes.
1851. Rhumkorff construirt den nach ihm benannten Inductionsapparat.

Dritte Abtheilung.
Schall, Licht und Wärme.

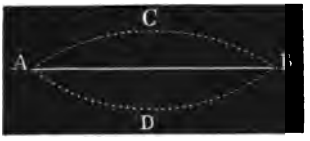
Achter Abſchnitt.
Vom Schalle.

§. 165. Schwingende Bewegung ſchallender Körper.

Der Schall entſteht durch die Erzitterungen oder Schwingungen elaſtiſcher Körper. An einer tönenden Saite oder Glocke vermögen wir die ſchwingende Bewegung der einzelnen Theile unmittelbar mit dem Auge wahrzunehmen.

Als Beiſpiel, an welchem wir dieſe Bewegung näher erörtern wollen, möge eine geſpannte Saite AB, Fig. 186, dienen. Sich ſelbſt überlaſſen, nimmt dieſelbe die Lage einer geraden Linie an. Bringen wir die Saite aus dieſer Lage, z. B. durch einen Zug mit der Hand, in eine gekrümmte Lage ACB, ſo ſtrebt ſie vermöge ihrer Elaſticität beſtändig in die geradlinige Lage zurückzukehren und zwar mit um ſo größerer Kraft, je mehr die krumme Linie ACB von der geraden Linie AB abweicht. Die Saite kehrt, ſo wie wir ſie los laſſen, aus der gekrümmten Lage ACB in die geradelinige Lage AB zurück; und ſie bewegt ſich hierbei mit wachſender Geſchwindigkeit, weil ihre Elaſticität fortwährend auf dieſe Bewegung beſchleunigend wirkt, ſo daß ſie in der geradlinigen Lage AB, wo dieſe Einwirkung aufhört, die größte Geſchwindigkeit erlangt. Sie kommt daher in dieſer Lage nicht zur Ruhe, ſondern fährt vermöge des Trägheitsgeſetzes fort ſich zu bewegen, aber mit abnehmender Geſchwindigkeit, weil jetzt die Elaſticität der Saite ihrer Bewegung entgegenwirkt, weshalb ſie auch dieſe Bewegung nur bis zu einer gewiſſen äußerſten Lage ADB fortſetzt und dann in die entgegengeſetzte Bewegung übergeht. Denken wir uns zunächſt, um größerer Einfachheit Willen, daß die Saite vollkommen elaſtiſch iſt, und abſtrahiren wir überdieß von allen Hinderniſſen der Bewegung, ſo muß die äußerſte Lage ADB, welche die Saite erreicht, von der geradlinigen Lage AB genau eben ſo viel abweichen, als die Lage ACB, um welche dieſelbe urſprünglich von der geraden Linie AB entfernt worden iſt, wie leicht daraus hervorgeht, daß während der zweiten Hälfte

(Fig. 186.)



der besprochenen Bewegung die Geschwindigkeit der Saite durch die Gegenwirkung der Elasticität ganz eben so vermindert wird, als sie vorher durch dieselbe beschleunigt worden ist. — Aus der Lage ADB kehrt die Saite dann auf ganz gleiche Weise in die Lage ACB zurück, und sie würde so ohne Aufhören immer genau gleiche Schwingungen machen müssen, wenn, wie gesagt, ihrer Bewegung keine Hindernisse entgegenständen und sie vollkommen elastisch wäre. Weil aber in der Wirklichkeit diese Bedingungen nie vollständig erfüllt sind, so werden bei einer jeden Saite die auf einander folgenden Schwingungen immer kleiner, bis dieselbe endlich ganz zur Ruhe kommt.

Ein Hin- und Hergang der Saite aus der Lage ACB in die Lage ADB und wieder zurück in die Lage ACB wird *eine Schwingung* genannt. Man würde dieses beim Pendel *eine Doppelschwingung* nennen.

Uebrigens sieht man schon aus der obigen Darstellnng, daß die schwingende Bewegung einer Saite die größte Aehnlichkeit mit der eines Pendels hat. Sie stimmt mit diesem besonders auch noch in dem Umstande überein, daß bei der nehmlichen Saite die Dauer einer Schwingung von der Größe derselben fast ganz unabhängig ist. Der empirische Beweis für die Richtigkeit dieser Behauptung ergiebt sich aus folgender Erfahrung: Wenn wir eine Saite auf einem Claviere oder Flügel anschlagen, so tönt dieselbe einige Zeit fort; dieser Ton wird allmählig schwächer und verschwindet zuletzt für unsere Wahrnehmung, indem die Schwingungen der Saite immer kleiner werden. Die Höhe oder Tiefe dieses Tones dagegen bleibt, wie lange derselbe auch anhalten mag, unverändert die nehmliche. Da nun, wie wir sogleich sehen werden, die Höhe eines Tones allein von der Zahl der in einer Secunde vollendeten Schwingungen abhängt, so folgt hieraus, daß die Saite während der ganzen Dauer ihres Tönens immer gleich viel Schwingungen, also in der letzten Secunde eben so viel kleinere, als in der ersten größere Schwingungen macht.

Wie die Schwingungen einer tönenden Saite sich der Luft oder andern mit derselben in Berührung stehenden Körpern mittheilen und nach unserm Ohre fortgepflanzt werden, davon wird weiter unten (§. 175) die Rede sein*).

Das im Vorhergehenden über die Schwingungen einer elastischen Saite Gesagte gilt im Wesentlichen auch von den Schwingungen aller andern einen Schall erzeugenden Körper. Berücksichtigen wir von denselben nur diejenigen, welche in der Musik angewendet werden, so unterscheiden wir zunächst feste und luftförmige Körper, indem flüssige wegen ihrer geringeren Elasticität keine Anwendung finden. Daß die Luft der eigentlich schallende Körper in den Blasinstrumenten ist, werden wir weiter unten (§. 170) ausführlicher zeigen. Die festen Körper zerfallen weiter in folgende Abtheilungen:

1) Solche, bei denen *eine Dimension*, die Länge, die beiden anderen, Breite und Dicke, überwiegt. Diese lassen sich wieder eintheilen

a) in starre oder *Stäbe*, welche z. B. in Spieluhren, Stahlgeigen u. dgl. angewendet werden;

b) in biegsame oder *Saiten*, welche ihre Elasticität erst äußern, wenn sie gespannt sind.

*) Wir weichen von dem Gange der meisten Lehrbücher ab und handeln in den folgenden Paragraphen zunächst von den Tonverhältnissen, weil mehrere Bestimmungen über die Geschwindigkeit des Schalles, über die absolute Größe der Schwingungszahlen u. a. m. wesentlich auf der Kenntniß dieser Verhältnisse beruhen.

2) Solche Körper, bei denen zwei Dimensionen die dritte überwiegen. Auch hier unterscheiden wir:

a) starre oder Scheiben, welche entweder eben oder gekrümmt sein können, welches letztere bei den Glocken der Fall ist;

b) gespannte Membranen, z. B. bei den Pauken; ferner die Stimmbänder in dem Organe, durch welches die Stimme der Menschen oder Thiere hervorgebracht wird.

In Hinsicht der Schwingungen, durch welche ein Schall erzeugt wird, unterscheidet man hauptsächlich zwei Arten:

a) transversale, deren Richtung auf der Hauptausdehnung des schallenden Körpers senkrecht ist, wohin z. B. die oben besprochenen Schwingungen einer Saite gehören;

b) longitudinale, welche in der Richtung der Hauptdimension des schallenden Körpers erfolgen, wie dieß z. B. bei der Luft in den Blasinstrumenten der Fall ist.

Eine Saite kann nicht blos transversale, sondern auch longitudinale Schwingungen machen. Man erregt diese bei einer Saite auf der Geige, wenn man dieselbe mit dem Bogen unter einem sehr spitzen Winkel streicht, wodurch ein hoher, unreiner Ton entsteht. Elastische Stäbe können sowohl in transversale, als auch in longitudinale Schwingungen versetzt werden. Man erregt die letzteren, wenn man den Stab in der Richtung seiner Länge mit einem Lappen reibt, welchen man mit pulverisirtem Bimstein bestreut hat. Endlich kann man bei einem runden Stabe auch noch eine dritte Art von Schwingungen, nehmlich drehende, erzeugen, indem man den Stab mit einem solchen Lappen in einer auf seine Länge senkrechten Richtung reibt.

Im Jahre 1853 hat Savart in Paris (kurz vor seinem Tode) die merkwürdige Entdeckung gemacht, daß auch beim Ausfließen des Wassers aus engen Oeffnungen oder Röhrchen Töne erzeugt werden können. Das Entstehen und die Stärke dieser Töne wird vorzüglich durch die Höhe des Ausflußröhrchens bedingt. Dieselben sind nur wahrnehmbar, wenn diese Höhe nicht kleiner, als der halbe und nicht größer, als der doppelte Durchmesser des Röhrchens ist. Die Höhe der Töne aber hängt von der Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers und dem Durchmesser des Röhrchens ab; sie ist der ersteren nahezu direct, dem letzteren umgekehrt proportional. — Indem die Höhe der Wassersäule im Gefäße während des Ausfließens sich vermindert, nimmt die Stärke des Tones in wiederholten Abwechselungen zu und bis zum Verschwinden ab.

§. 166. Schwingungszahlen der Töne.

Wenn ein Schall eine nicht allzu kurze Dauer hat, und wir denselben als etwas Gleichartiges empfinden, so nennen wir ihn Klang oder Ton; das letztere besonders dann, wenn wir die Höhe oder Tiefe berücksichtigen. Geht einem Schalle dieses Gleichartige ab, so nennen wir denselben Geräusch. Ein Ton entsteht durch regelmäßige, ein Geräusch durch unregelmäßige Schwingungen eines schallenden Körpers.

Haben die Schwingungen eine sehr kurze Dauer, hören sie gleich nach ihrem Entstehen wieder auf, so vernehmen wir keinen eigentlichen Ton, sondern einen Knall, wie z. B. beim Schlagen eines Hammers gegen einen harten Körper, beim Durchschneiden der Luft mit einer Peitschenschnur u. dgl. Stoßen die Zähne eines Rades gegen einen elastischen Stab, so vernehmen wir bei langsamer Umdrehung des Rades jeden Stoß einzeln. Wird aber das Rad so rasch gedreht, daß wir die einzelnen Stöße nicht mehr zu unterscheiden vermögen, so entsteht die Empfindung eines Tones. Dieser ist um so höher, je rascher das Rad gedreht wird.

Ueberhaupt hängt die Höhe oder Tiefe des Tones von der Geschwindigkeit ab, mit welcher ein schallender Körper schwingt, oder, was dasselbe sagen will,

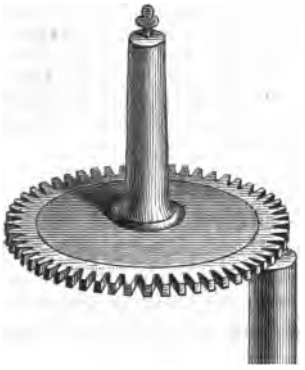
von der Anzahl der Schwingungen, welche er in jeder Stunde vollendet. Ein Ton ist um so höher, je größer die Schwingungszahl ist.

Wenn man einen elastischen Stab mit dem einen Ende in einen Schraubstock befestigt, und hierauf in Schwingungen versetzt, so wird man, wenn der Stab hinreichend lang ist, leicht im Stande sein, die Schwingungen desselben zu zählen. Verkürzt man den Stab, so nimmt die Zahl der Schwingungen zu und zwar in dem quadratischen Verhältnisse, in welchem die Länge abgenommen hat. Der halb so lange Stab macht also viermal, der auf den dritten Theil verkürzte Stab neunmal so viel Schwingungen u. s. w. Hat man den Stab so weit verkürzt, daß durch die Schwingungen desselben ein deutlich wahrnehmbarer Ton entsteht, so wird man dieselben nicht mehr zu zählen vermögen; das eben angeführte Gesetz aber setzt uns in den Stand, die Zahl derselben zu berechnen. Machte z. B. der Stab ursprünglich zwei Schwingungen in der Secunde und ist derselbe bis auf den fünften Theil verkürzt worden, so macht er jetzt $2 . 25 = 50$ Schwingungen in der Secunde.

Dieses Verfahren, dessen sich Chladni zur Ermittelung der absoluten Schwingungszahlen der Töne bediente, gewährt jedoch nur einen sehr geringen Grad von Genauigkeit, da man die durch unmittelbare Zählung bestimmten Schwingungszahlen, zumal bei den höheren Tönen, mit sehr großen Zahlen zu multipliciren hat, und sich daher auch die mit jenen Bestimmungen unvermeidlich verbundenen Fehler in demselben Verhältnisse vergrößern.

Eine weit größere Genauigkeit gewährt eine von Caignard de la Tour erfundene und Sirene genannte Vorrichtung. Diese besteht nach der einfachsten Einrichtung aus einer um eine senkrechte Axe drehbaren Scheibe, welche am Rande mit zahlreichen Einschnitten versehen ist. Unter der Scheibe befindet sich in der Nähe des gezähnten Randes eine Röhre, in deren oberem, dicht an den gezähnten Rand der drehbaren Scheibe anschließendem Boden eine längliche Oeffnung angebracht ist, welche bei der Umdrehung der Scheibe abwechselnd geöffnet und geschlossen wird, je nachdem eine Lücke oder ein Zahn über dieselbe hinweg geht. Wenn man nun durch die Röhre einen Luftstrom hindurchgehen läßt, so wird dieser bei der Umdrehung der Scheibe abwechselnd unterbrochen und erneuert. Wird die Scheibe nicht zu langsam gedreht, so vernimmt man in Folge hiervon einen Ton, der um so höher ausfällt, je rascher man dreht. Aus der Zahl der Einschnitte und der Zahl der Umläufe, welche die Scheibe in der Secunde macht, läßt sich die dem erzeugten Tone entsprechende Schwingungszahl mit Leichtigkeit und Sicherheit berechnen.

(Fig. 187.)



Man hat auf diese Art gefunden, daß dem Tone a der gewöhnlichen Stimmgabeln (ohngefähr) 440 Schwingungen in der Secunde zukommen.

Auf den tiefsten überhaupt noch wahrnehmbaren Ton kommen nach Savart etwa 7, auf den höchsten 24000 Schwingungen in der Secunde. Es versteht sich indeß wohl von selbst, daß diese Zahlen nur als ohngefähre

Angaben anzusehen sind, indem dieselben theils durch die Empfindlichkeit des Ohres, theils durch die Größe der Excursionen des schallenden Körpers bedingt werden. Sind diese nur klein, so wird ein Ton weniger leicht vernommen, als bei größeren Excursionen.

Bei dem tiefsten in der Musik gebräuchlichen Tone, welche eine beiderseits offene Pfeife von ohngefähr 32 Par. (oder 33 Preuß.) Fuß Länge giebt, macht die Luft 16 Schwingungen in der Secunde.

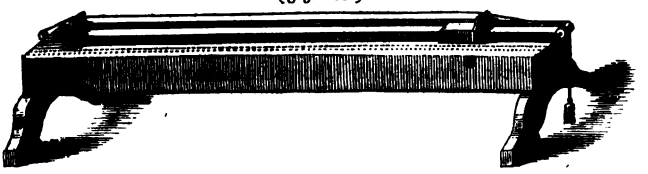
Diese Zahl, so wie auch alle andern im Vorhergehenden angeführten Schwingungszahlen beziehen sich immer auf ganze Schwingungen, von denen jede aus einem Hin- und Hergange des schwingenden Körpers besteht.

Savart bediente sich bei seinen Untersuchungen eines gezähnten Rades, welches an seinem Umfange eine große Zahl ganz gleicher Zähne trug, welche bei der Umdrehung gegen die Kante eines elastischen Blättchens stießen und dasselbe in Schwingungen versetzten. Die Zahl der Zähne multiplicirt mit der Zahl der Umdrehungen, welche das Rad in der Secunde macht, giebt die Zahl der Schwingungen des elastischen Blättchens.

§. 167. Tonverhältnisse.

Wenn man eine Saite auf die Hälfte oder den dritten oder vierten Theil verkürzt, ohne ihre Spannung zu verändern, so macht dieselbe in der Secunde zwei-, drei-, viermal so viel Schwingungen, als wenn sie in ihrer ganzen Länge schwingt. Ueberhaupt nimmt bei ungeänderter Spannung die Zahl der Schwingungen einer Saite im umgekehrten Verhältnisse ihrer Länge zu. Nennen wir den Ton, welchen die in ihrer ganzen Länge schwingende Saite giebt, den Grundton, so wird der Ton, welchen die auf die Hälfte verkürzte Saite giebt, in der Musik die Octave genannt, weil zwischen ihr und dem Grundtone noch sechs in der Musik gebräuchliche Töne liegen, deren Aufeinanderfolge dem Ohre eine gewisse Befriedigung gewährt. Diese Töne führen nach der Reihe die Namen Secunde, Terz, Quart, Quinte, Sexte, Septime und werden, wenn wir für den Grundton C, für die Octave c setzen, mit D, E, F, G, A, H bezeichnet. Um das Verhältniß der Schwingungszahlen dieser Töne zum Grundtone zu ermitteln, bedient man sich am einfachsten des Monochords. Dieses besteht aus einer über einem Resonanzbogen gespannten Saite (Fig. 188), bei

(Fig. 188.)



welcher sich durch einen beweglichen Steg die Länge des schwingenden Theiles, welcher sich allemal nur von dem einen Ende bis zum Stege erstreckt, beliebig verkürzen läßt. Verkürzt man diesen Theil so lange, bis irgend ein bestimmter Ton, z. B. die Quinte zum Vorschein kommt, so findet man, daß die Länge des schwingenden Theiles zwei Drittel von der Länge der Saite beträgt, wenn dieselbe den Grundton giebt. Da sich nun die Schwingungszahlen zweier Saiten bei ungeänderter Spannung umgekehrt wie ihre Längen verhalten, so verhält sich folglich die Schwingungszahl der Quinte zu der des Grundtones wie 3 zu 2.

Auf ähnliche Weise lassen sich auch leicht die Verhältnisse der Schwingungszahlen der übrigen Töne der Tonleiter zu der des Grundtones ermitteln. Man erhält auf diese Art, wenn man, um Brüche zu vermeiden, für die Schwingungszahl des Grundtones 24 setzt, für die einzelnen Töne folgende Verhältnißzahlen:

C	D	E	F	G	A	H	c
24	27	30	32	36	40	45	48.

Wenn zwei Töne zugleich gehört werden, so bringen dieselben entweder eine angenehme Empfindung, welche wir Consonanz, oder eine unangenehme Empfindung hervor, welche wir Dissonanz nennen. Mehrere consonirende Töne bilden einen Accord. Zwei Töne consoniren um so vollständiger, in je kleineren Zahlen sich das Verhältniß ihrer Schwingungszahlen ausdrücken läßt, je öfter also die Schwingungen des einen Tones mit denen des anderen zusammentreffen.

Der Grundton, die Terz und die Quinte (C, E und G), deren Schwingungszahlen sich wie 4, 5 und 6 verhalten, werden in der Musik der große Dreiklang genannt. Das Verhältniß E : G = 5 : 6 heißt die kleine Terz und zum Unterschiede hiervon wird das Verhältniß C : E = 4 : 5 die große Terz genannt.

Wenn wir in der oben mitgetheilten Tonleiter sämmtliche Töne mit dem Grundtone vergleichen, indem wir diesen gleich 1 setzen, so erhalten wir folgende Verhältnißzahlen:

C	D	E	F	G	A	H	c
1	$^9/_8$	$^5/_4$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^5/_3$	$^{15}/_8$	2.

Diese Zahlen zeigen das umgekehrte Verhältniß der Länge einer Saite an, welche bei ungeänderter Spannung die angegebenen Töne erzeugt. — Dieselben können uns ferner dazu dienen, wenn von einem Tone, welchen wir als Grundton annehmen, die Schwingungszahl gegeben ist, diese Zahl für die Secunde, Terz u. s. w. zu berechnen; wir werden nehmlich nur nöthig haben, die Schwingungszahl des Grundtones mit $^9/_8$, $^5/_4$ u. s. w. zu multipliciren.

Dividiren wir in der obigen Tonleiter je zwei auf einander folgende Glieder in einander, so ergeben sich weiter folgende Zahlen

C	D	E	F	G	A	H	c
$^9/_8$	$^{10}/_9$	$^{16}/_{15}$	$^9/_8$	$^{10}/_9$	$^9/_8$	$^{16}/_{15}$.	

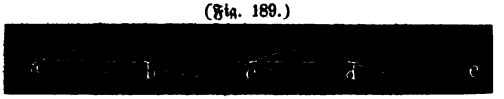
Es findet daher von einem Tone zum andern keineswegs durchgehends derselbe Fortschritt, das nehmliche Intervall, sondern ein dreifach verschiedenes Verhältniß statt. Von diesen wird das größte Intervall $^9/_8$ das eines großen und das nur wenig kleinere $^{10}/_9$ das eines kleinen ganzen Tones, $^{16}/_{15}$ aber das eines halben Tones genannt.

Ein Ton wird um einen halben Ton erhöht, wenn man die Schwingungszahl desselben mit $^{16}/_{15}$ multiplicirt; er wird um eben so viel erniedrigt, wenn man mit $^{16}/_{15}$ dividirt, oder was dasselbe sagen will, mit $^{15}/_{16}$ multiplicirt. Wenn man von zwei auf einander folgenden Tönen, z. B. C und D, welche um das Intervall eines ganzen Tones von einander abstehen, den niedrigeren C mit $^{16}/_{15}$, den höheren mit $^{15}/_{16}$ multiplicirt, so erhält man nicht genau dieselbe Zahl, sondern ein Wenig von einander abweichende Zahlen. Wiewohl nun hiernach streng genommen zwischen Cis und Des eine kleine Verschiedenheit stattfindet, so werden diese Töne doch bei unsern Clavieren, Orgeln u. s. w., überhaupt bei solchen Instrumenten, welche nur eine beschränkte Zahl von Tönen hervorzubringen vermögen, nicht von einander unterschieden. Dasselbe gilt von den nur wenig verschiedenen Verhältnissen eines kleinen und eines großen ganzen Tones. Man sieht schon hieraus, daß die Stimmung unserer Claviere keine vollkommen reine sein kann. Wollte man ein Clavier oder eine Orgel für eine bestimmte Tonart nach ganz reinen Verhältnissen stimmen, so würden hieraus für andere Tonarten unerträgliche Fehler hervorgehen. Man pflegt daher die Abweichungen von den genauen Verhältnissen in angemessener Weise zu vertheilen, was Temperatur genannt wird. Wir gehen jedoch hierauf nicht näher ein, da dieser Gegenstand mehr der Musik, als der Physik angehört.

§. 168. Schwingende Saiten.

Eine Saite kann auf zweierlei Arten schwingen; entweder sie schwingt als ein Ganzes in der Art, wie wir dies oben in §. 165 angegeben haben, oder sie theilt sich in aliquote Theile. Fig. 189 stellt eine in vier gleichen Theilen schwingende Saite dar. Die Stellen b, c und d, welche die für sich schwingenden Abtheilungen trennen und in Ruhe bleiben, werden **Schwingungsknoten** genannt. Zur Bestätigung und Veranschaulichung dieser Verhältnisse dient der folgende Versuch: Auf die Saite des Monochords, Fig. 188, setze man an verschiedenen Stellen kleine Papierstreifen in Form von Reiterchen; soll die Saite z. B. in vier aliquoten Theilen schwingen, so thut man dieß am schicklichsten in den Theilungspunkten c und d und dann in der Mitte zwischen b und c, c und d und d und e. Streicht man nun die Saite ohngefähr in der Mitte zwischen a und b mit einem Bogen, während man die Stelle b sanft mit dem Finger berührt, so bleiben die Reiterchen in den Punkten c und d ruhen; die in der Mitte zwischen zwei Schwingungsknoten angebrachten aber werden herabgeworfen.

(Fig. 189.)



Man kann die in zwei, drei, vier . . . aliquoten Theilen schwingende Saite als aus zwei, drei, vier . . . einzelnen Saiten bestehend ansehen, welche alle vier gleiche Länge haben und gleichzeitig schwingen, doch so, daß, während der eine Theil ab, Fig. 189, aufwärts schwingt, der folgende bc abwärts, der dann folgende cd wieder aufwärts schwingt u. s. f.

Nennen wir den Ton, welchen die in ihrer ganzen Länge schwingende Saite giebt, den **Grundton**, so vernehmen wir, wenn sich die Saite in zwei gleiche Theile getheilt hat, die Octave. Denn da Spannung und Dicke der Saite dieselben geblieben sind, jeder schwingende Theil aber nur die halbe Länge der ganzen Saite hat, so muß sich die Schwingungszahl verdoppelt haben, also die Octave entstehen. Aus gleichen Gründen vernimmt man, wenn sich die Saite in drei, vier, fünf, sechs . . . gleiche Theile theilt, Töne, deren Schwingungszahlen sich wie die Zahlen 3, 4, 5, 6 . . . verhalten, (nehmlich die Quinte der Octave, die doppelte Octave, die Terz der doppelten Octave, die Quinte der doppelten Octave u. s. w.)

Auf dem Angeführten beruhen die sogenannten **Flageolet-Töne** der Guitarre und anderer Saiten-Instrumente, so wie auch die Einrichtung der **Aeols-Harfe**. Diese besteht aus einem schmalen, aber mehrere Fuß langen Resonanzboden, über welchen man mehrere Saiten gespannt hat, welche sämmtlich eine ganz gleiche Stimmung haben. Stellt man nun die Aeolsharfe in den Luftzug, z. B. in eine Thür oder ein Fenster, welches man etwas geöffnet hat, so werden die Saiten durch den Luftzug in Schwingungen versetzt und theilen sich zugleich in aliquote Theile. Da alle Saiten eine gleiche Stimmung haben, so harmoniren die entstehenden Töne sämmtlich unter einander und bilden sehr schöne und reine Accorde.

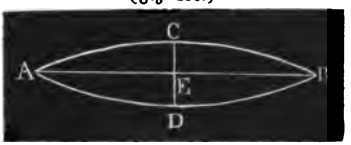
Man vernimmt bei längeren Saiten außer dem Haupttone nicht selten noch einen höheren, mit diesem harmonirenden **Nebenton**. Es muß daher die Saite zwei Schwingungsarten zugleich machen, als ein Ganzes und auch in aliquoten Theilen schwingen. Aehnliches gilt auch von anderen tönenden Körpern;

auch bei Stäben, Glocken, Blasinstrumenten u. a. m. bemerkt man häufig neben dem tieferen Grundtone noch einen höhern *Nebenton*.

Wenn eine Saite als ein Ganzes schwingt, so hängt die Tonhöhe zunächst von der *Länge* ab, und zwar ist sie, wie wir schon öfter angeführt haben, *der Länge umgekehrt proportional*. Außerdem wird die Höhe des Tones auch durch die *Spannung*, durch die *Dicke* und die *Dichtigkeit* (das specifische Gewicht) der Materie, aus welcher die Saite besteht, bestimmt. Bei der nehmlichen Saite *wächst die Tonhöhe*, wenn man ihre *Spannung vergrößert*. Von zwei gleich langen und gleich stark gespannten Saiten, welche aus derselben Materie bestehen, giebt die *dickere* den *tieferen* Ton. Wenn zwei Saiten aus verschiedenen Stoffen bestehen, z. B. eine Darmsaite und eine Messingsaite, und eine gleiche Länge, gleiche Dicke und gleiche Spannung haben, so giebt die Messingsaite, als die *dichtere*, den *tieferen* Ton.

Wenn man eine gespannte Saite AB in der Mitte E mit einem Gewichte belastet, so ist die Weite DE, um welche dieselbe hierdurch von der geraden Linie AB entfernt wird, innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elasticität (§. 11) der Größe des Gewichtes proportional; umgekehrt ist daher auch die Kraft, mit welcher die Saite, wenn sie durch irgend eine Ursache in die Lage ADB geführt worden ist, in die Lage AEB zurückzukehren strebt, der Weite DE proportional. Kehrt die sich selbst überlassene Saite wirklich aus der Lage ADB in die Lage AEB zurück, so nimmt die Kraft, welche die Saite während dieser Bewegung in die Lage AEB treibt, in dem nehmlichen Verhältnisse ab, in welchem sich der Punkt D dem Punkte E nähert. Wir haben daher hier ganz den in der Anmerkung zu §. 39 behandelten Fall, daß die bewegende Kraft in demselben Verhältniß sich vermindert, in welchem sich der bewegte Körper einem bestimmten Punkte seiner Bahn nähert.

(Fig. 190.)



Ist die halbe Schwingungsweite CE = DE, welche wir mit a bezeichnen wollen, nur klein, so werden wir ohne erheblichen Fehler die Bogen AC, BC, BD und AD als Seiten eines Parallelogrammes ansehen können; wir erhalten daher, wenn wir die spannende Kraft der Saite mit P, die Kraft aber, mit welcher die Saite aus der Lage ACB oder ADB in die Lage AEB zurückzukehren strebt, mit Q bezeichnen, nach dem Satze vom Parallelogramm der Kräfte die Proportion:

$$1)\quad Q : P = CD : CB = 2a : \tfrac{1}{2}L,$$

wo L die ganze Länge der Saite bezeichnet, also

$$Q = \frac{4aP}{L}.$$

Nun ist klar, daß es eine Masse geben muß, welche, wenn sie in der Mitte der Saite angebracht und durch die Kraft Q zur Bewegung angetrieben würde, den Weg DE genau in derselben Zeit zurücklegen würde, wie der mittelste Punkt der Saite. Bezeichnen wir das Gewicht dieser Masse mit G, ferner die Geschwindigkeit, welche ihr die Kraft Q, welche, wie wir gesehen haben, der Schwingungsweite DE = a proportional ist, wenn sie während einer Secunde mit unveränderlicher Stärke wirkte, am Ende derselben ertheilen würde, mit ak, wo k einen noch näher zu bestimmenden Coefficienten bedeutet, endlich die Geschwindigkeit, welche das Gewicht G und überhaupt jeder durch die Schwere beschleunigte Körper beim freien Falle am Ende der ersten Secunde erlangt, mit 2g, so verhält sich offenbar

$$ak : 2g = Q : G,$$

folglich

$$k = \frac{2gQ}{aG},$$

oder wenn wir den oben in Gleichung (1) für Q erhaltenen Werth einsetzen:

$$2)\quad k = \frac{8gP}{GL}.$$

Zu Folge der in der Anmerkung zu §. 39 abgeleiteten Gleichung ist die Zeit, welche der Punkt D unter den angegebenen Voraussetzungen gebraucht, um den Weg DE zu durchlaufen, also den vierten Theil einer Schwingung zu vollenden, gleich

$$\frac{\pi}{2\sqrt{k}},$$

folglich die Dauer einer ganzen Schwingung

$$t = \frac{2\pi}{\sqrt{k}},$$

oder wenn wir den für k in Gleichung (2) erhaltenen Werth einsetzen:

$$3)\quad t = \pi\sqrt{\frac{GL}{2gP}}.$$

Haben die Buchstaben G', L', P', t' für eine zweite Saite die nehmliche Bedeutung, welche wir für die bisher betrachtete Saite den Buchstaben G, L, P, t beigelegt haben, so ist für diese zweite Saite

$$t' = \pi\sqrt{\frac{G'L'}{2gP'}}$$

und folglich, da sich die Schwingungszahlen zweier Saiten, welche wir mit N und N' bezeichnen wollen, umgekehrt wie die Schwingungszeiten verhalten,

$$4)\quad N : N' = \sqrt{\frac{G'L'}{P'}} : \sqrt{\frac{GL}{P}} = \sqrt{G'L'P} : \sqrt{GLP'}.$$

In dieser Gleichung bedeuten P und P' die die Saiten spannenden Kräfte, L und L' die Längen dieser Saiten und G und G' zwei Gewichte, welche in der Mitte der Saiten angebracht zu ihrer schwingenden Bewegung die nehmliche Zeit erfordern würden, als die auf die ganze Länge vertheilten Massen der Saiten. Nun sind zwar diese Gewichte keineswegs den Gewichten der Saiten selbst gleich, aber offenbar proportional*). Da sich nun die Gewichte zweier Saiten offenbar wie ihre Längen L und L', wie die Quadrate ihrer Durchmesser D und D' und wie ihre specifischen Gewichte S und S' verhalten, so verwandelt sich hiernach die Proportion (4) in

$$N : N' = D'L'\sqrt{PS'} : DL\sqrt{P'S}$$

oder

$$5)\quad N : N' = \frac{\sqrt{P}}{DL\sqrt{S}} : \frac{\sqrt{P'}}{D'L'\sqrt{S'}},$$

d. h. die Tonhöhen oder Schwingungszahlen zweier Saiten verhalten sich direct wie die Quadratwurzeln aus den spannenden Kräften und umgekehrt wie ihre Längen, ihre Durchmesser und die Quadratwurzeln ihrer specifischen Gewichte.

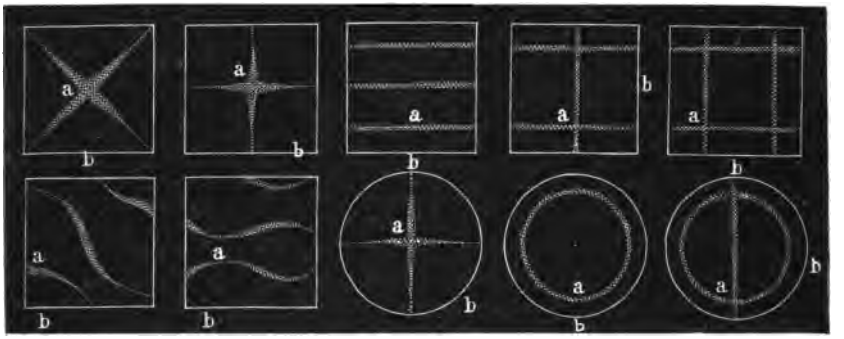
§. 169. Schwingende Scheiben.

Wir haben im vorhergehenden Paragraphen gesehen, daß eine Saite als ein Ganzes und in aliquoten Theilen schwingen kann. Dieses Letztere ist bei schwingenden Scheiben immer der Fall; die ruhenden Stellen, durch welche die nach entgegengesetzten Richtungen schwingenden Theile von einander getrennt werden, bilden zusammenhängende Linien, welche man Knotenlinien nennt. Bestreut man eine gläserne Scheibe mit feinem Sande, hält dieselbe in der Mitte oder an einer anderen Stelle in einiger Entfernung vom Rande fest und streicht sie dann irgendwo am Rande mit einem Violinbogen, so wird der Sand von den schwingenden Stellen weggeworfen und sammelt sich an den ruhenden an, wodurch eine regelmäßige Figur entsteht. Man nennt dergleichen

*) Bezeichnet M das Gewicht einer Saite, so läßt sich zeigen, worauf wir jedoch hier nicht näher eingehen können, daß $G = 4M$ ist, wonach die oben erhaltene Gleichung (3) in $t = 2\pi\sqrt{\frac{LM}{2gP}}$ übergeht.

Figuren, von denen Fig. 191 einige Beispiele liefert, Chladni'sche oder Klangfiguren, indem Chladni dieselben erfunden und zuerst (1787) bekannt gemacht hat. Jeder Figur entspricht bei derselben Scheibe auch ein bestimmter

(Fig. 191.)



Ton; die Figur ist im Allgemeinen um so einfacher, je tiefer, und um so verwickelter, je höher der Ton ist.

Auch gekrümmte Scheiben, Glocken, schwingen niemals als ein Ganzes, sondern theilen sich hierbei jederzeit in aliquote Theile. Wird eine Glocke irgendwo am Umfange angeschlagen oder mit einem Bogen gestrichen, so theilt sie sich in vier Theile, welche durch zwei sich im Knopfe der Glocke kreuzende Knotenlinien getrennt werden. Auch die den Knopf umgebenden Theile bleiben in Ruhe. Man kann diese Verhältnisse leicht sichtbar machen, wenn man die Glocke bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser füllt. Die wellenförmige Bewegung, in welche dieses während des Tönens der Glocke geräth, giebt die Lage der schwingenden und ruhenden Theile an.

Die Glocke kann auch mit mehr, als vier aliquoten Theilen schwingen; man bewirkt dieses leicht, wenn man dieselbe an zwei Stellen in passenden Abständen von einander sanft mit den Fingern berührt und dann in der Mitte zwischen beiden berührten Stellen mit dem Bogen streicht. Der Ton ist bei der nehmlichen Glocke natürlich um so höher, in je mehr aliquote Theile sich dieselbe theilt.

Zur Erzeugung der Chladni'schen Figuren bedient man sich am bequemsten dünner Scheiben von etwa fünf Zoll Durchmesser von gemeinem, möglichst ebenem und gleichförmig dickem Fensterglase, deren scharfe Kanten am Rande man auf einem Sandsteine abschleift. Man hält dieselben mit dem Daumen und Zeigefinger der linken Hand fest und streicht sie mit einem Geigenbogen, welchen man in der rechten Hand hält und vorher stark mit Colophonium gestrichen hat. Zum Bestreuen wendet man feinen und trockenen Quarzsand an, welchen man durch öfteres Uebergießen mit Wasser vom Staube gereinigt hat. Statt gläserner Scheiben kann man auch metallene oder beliebige andere elastische, selbst hölzerne Scheiben anwenden.

Zu Versuchen mit gekrümmten Scheiben eignen sich besonders die kleinen gläsernen Glocken der Luftpumpen von etwa zwei Zoll Durchmesser und vier Zoll Höhe; doch können für denselben Zweck auch gewöhnliche Wasser- oder Weingläser dienen.

§. 170. Tönende Schwingungen der Luft.

Da die Luft von allen Körpern die vollkommenste Elasticität besitzt, so muß sie auch vorzüglich geeignet sein, durch regelmäßige Schwingungen Töne zu erzeugen. Daß die Luft wirklich der tönende Körper in unseren Blase-

instrumenten ist, geht schon daraus hervor, daß der Ton einer Pfeife sich nicht ändert, wenn man die Wände derselben anfaßt, und daß diese Wände selbst häufig aus einem unelastischen Material, wie z. B. Blei bestehen, — ferner ganz besonders daraus, daß die Höhe und Tiefe des Tones lediglich durch die Dimensionen der eingeschlossenen Luftsäule bedingt wird, dagegen von der Beschaffenheit des Materials der dieselbe einschließenden Wände der Pfeife unabhängig ist. Wiewohl nun die Verschiedenheit dieses Materials auf die Höhe und Tiefe des Tones keinen Einfluß hat, so wird doch das Eigenthümliche des Klanges, welches wir nicht näher zu definiren vermögen, durch die verschiedene Beschaffenheit des Materials, aus welchem die Wände einer Pfeife bestehen, bedingt. So hat z. B. bei einer silbernen Trompete der nehmliche Ton einen anderen Klang, als bei einer messingenen u. dgl., was ohne Zweifel von der größeren oder geringeren Fähigkeit der die schwingende Luftsäule begrenzenden Wände, an diesen Schwingungen selbst Theil zu nehmen, abhängt, (wie wir weiter unten (§. 181) bei der Resonanz noch näher erörtern werden).

Die tönenden Schwingungen der Luft in den Blaseinstrumenten sind Longitudinalschwingungen und bestehen in abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft, wie wir sogleich ausführlicher zeigen werden. Sie können durch sehr verschiedene Mittel hervorgerufen werden, von denen wir uns auf die Anführung der beiden folgenden beschränken: erstens durch das Einblasen eines schmalen Luftstromes, was bei den so genannten Lippenpfeifen der Fall ist, zweitens durch die schwingende Bewegung eines elastischen Blättchens, welches durch einen eingeblasenen Luftstrom in Schwingungen versetzt wird und seine schwingende Bewegung der in der Pfeife eingeschlossenen Luftsäule mittheilt, wie dieses in den so genannten Zungenpfeifen geschieht.

Bei den Hörnern und Trompeten wird die eingeschlossene Luftsäule in tönende Schwingungen versetzt, indem man die Luft an einem Ende durch Einblasen verdichtet. — Eine Orgelpfeife kann zum Tönen gebracht werden, wenn man eine Stimmgabel, welche nahe denselben Ton giebt, vor das offene Ende hält u. dgl. m.

§. 171. Lippenpfeifen.

Wir fassen unter diesem Namen alle diejenigen Pfeifen zusammen, bei welchen die schwingende Bewegung der eingeschlossenen Luftsäule durch das Einströmen eines schmalen Luftstromes hervorgebracht wird. Dieses ist z. B. der Fall, wenn wir auf einem hohlen Schlüssel blasen, ferner bei den hölzernen Pfeifen, welche den Kindern zum Spielwerk dienen oder bei den Pfeifen, welche sich dieselben aus der Rinde junger Weidenzweige verfertigen, ferner bei den Flöten, bei den Orgelpfeifen, welche man Flötenwerke nennt, u. dgl. m. Fig. 192, welche einen Längsdurchschnitt einer solchen Orgelpfeife zeigt, kann dazu dienen, eine ohngefähre Vorstellung von der Einrichtung derselben zu geben. Die bei c eingeblasene Luft trifft bei a gegen eine die Pfeife fast ganz verschließende Platte und entweicht zum Theil durch die Oeffnung d, welche das Mundloch genannt wird, während ein anderer Theil der eingeblasenen Luft als ein schmaler Strom in den cylinderförmigen Raum aabb eindringt und die zwischen a und b enthaltene Luftsäule in eine schwingende Bewegung versetzt.

Hat die Pfeife überall (zwischen a und b) eine gleiche Weite, schwingt die eingeschlossene Luftsäule in ihrer ganzen Ausdehnung, ohne sich in mehrere gleiche Theile zu theilen, und ist die Pfeife nicht allzu kurz (wenigstens

sechsmal so lang, als breit), so ist die Höhe des Tones oder die Zahl der in einer Secunde gemachten Schwingungen der Länge der Pfeife ab umgekehrt proportional. (Eine Pfeife, welche nur die Hälfte, ein Drittel, ein Viertel u. s. w. von der Länge einer andern hat, giebt die Octave, die Quinte von der Octave, die doppelte Octave u. s. w.) Es stimmt also dieses Gesetz ganz mit dem oben (§. 167) über schwingende Saiten angeführten Hauptgesetze überein. — Die Tonhöhe ist dagegen von der Weite der Pfeife, von der Gestalt derselben, ob sie viereckig oder rund, gerade oder krumm ist u. dgl., unabhängig. Der Ton, welchen dieselbe Pfeife giebt, ist in wärmerer Luft etwas höher, als in kälterer, dagegen der nehmliche in dichterer, wie in dünnerer Luft. Es wächst nehmlich die Tonhöhe oder die Geschwindigkeit der Schwingungen nicht mit der absoluten, sondern mit der specifischen Elasticität der Luft. (Vergl. unten §. 176, Anmerkung.)

(Fig. 192.)

Die Wände einer Pfeife sind entweder mit Oeffnungen versehen, z. B. bei der Flöte, oder dieses ist nicht der Fall. — Die Lippenpfeifen ohne Seitenöffnungen zerfallen wieder in zwei Klassen, in solche, welche an beiden Enden offen, und in solche, welche am unteren b, Fig. 192, geschlossen sind. Erstere werden offene, letztere gedeckte Pfeifen genannt.

Wir betrachten zuerst die Schwingungen der Luft in einer gedeckten Pfeife ab, Fig. 193. Indem der eingeblasene schmale Luftstrom seine Bewegung der in der Pfeife eingeschlossenen Luftsäule mittheilt, wird diese gegen den Boden hingedrängt und immer mehr verdichtet, bis diese Verdichtung ein gewisses Maximum erreicht, worauf sich die Luft in der entgegengesetzten Richtung von b nach a hin bewegt und allmählig in b wieder ihre natürliche Dichtigkeit erlangt. Vermöge des Trägheitsgesetzes fährt sie jedoch fort, von b nach a sich zu bewegen, wodurch jetzt in b eine Verdünnung erzeugt wird. Hat diese Verdünnung eine gewisse Größe erreicht, so bewegt sich die Luft wieder von a nach b hin u. s. w., wobei die Dichtigkeit der Luft in a, wo sie mit der äußeren in Verbindung steht, beständig dieselbe bleibt. —

(Fig. 193.)

Bei der hier besprochenen Schwingungsart giebt die Pfeife den tiefsten Ton. Höhere Töne entstehen, wenn sich die schwingende Luftäule in aliquote Theile theilt, wovon weiter unten die Rede sein soll.

Wenn eine beiderseits offene Pfeife mit einer gedeckten gleiche Länge hat, so ist der tiefste Ton derselben die Octave vom tiefsten Tone der gedeckten. Soll die offene Pfeife denselben Ton, wie die gedeckte, geben, so muß sie die doppelte Länge derselben haben. Wir schließen hieraus, daß in einer offenen Pfeife schon bei der einfachen Schwingungsart in der Mitte ein Schwingungsknoten entsteht, so daß dieselbe also als aus zwei gedeckten Pfeifen ab und a'b, Fig. 194, bestehend anzusehen ist. Die Richtigkeit dieser Ansicht kann der folgende Versuch bestätigen: Eine gläserne Pfeife wird lothrecht gestellt; über einen Ring wird ein Häutchen gespannt und mit feinem

Sande beſtreut; hängt man nun den Ring, wie eine Wagſchale, an drei Fäden auf und ſenkt denſelben in die zum Tönen gebrachte Pfeife, ſo geräth der Sand da, wo die Luft am ſtärkſten ſchwingt, in die heftigſte Bewegung, bleibt aber an der Stelle des Schwingungsknotens völlig in Ruhe.

(Fig. 194.)

Befinden ſich in den Seitenwänden einer Pfeife Oeffnungen, welche willkührlich geöffnet und geſchloſſen werden können, ſo hat man die erſte nicht geſchloſſene Oeffnung, wenn dieſelbe nicht zu klein iſt, als das offene Ende der Pfeife und den Abſtand derſelben vom Mundloche als die Länge der Pfeife anzuſehen. Man begreift hiernach leicht, wie ſich durch Oeffnen und Schließen der Seitenlöcher der Ton erhöhen und erniedrigen läßt.

Wir haben im Vorhergehenden angenommen, daß die Seitenwände einer Pfeife parallel laufen. Eine beiderſeits offene Pfeife, deren Wände vom Mundloche nach dem offenen Ende hin ſich erweitern, giebt einen höheren Ton, dagegen eine Pfeife, deren Wände nach dem offenen Ende hin ſich verengern, wodurch ſich dieſelbe gleichſam einer gedeckten Pfeife nähert, einen tieferen Ton, als eine offene Pfeife mit parallelen Wänden von gleicher Länge.

Eine am Ende zum Theil gedeckte Pfeife giebt einen tieferen Ton, als eine ganz offene, und einen höheren Ton, als eine ganz gedeckte Pfeife von gleicher Länge. Hierauf beruht die Methode des Stimmens hölzerner offener Orgelpfeifen. Man bringt nehmlich am offenen Ende eine bewegliche Klappe an, welche man mehr oder weniger öffnet oder ſchließt, je nachdem man den Ton erhöhen oder erniedrigen will.

Bei den geſchloſſenen Pfeifen erhöht man den Ton, indem man einen das Ende verſchließenden Pfropf tiefer hineintreibt und ſo die Pfeife verkürzt; man erniedrigt dagegen den Ton, wenn man dieſen Pfropf mehr herauszieht.

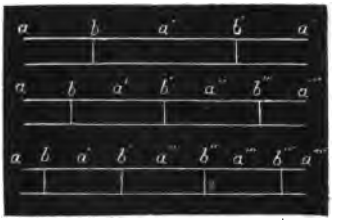
Bleierne offene Pfeifen werden geſtimmt, indem man ſie am offenen Ende erweitert oder verengt, je nachdem man den Ton erhöhen oder erniedrigen will.

In Hinſicht der Flöte wollen wir noch anführen, daß wegen des transverſalen Anblaſens die Tonhöhen nicht ſo der Länge proportionirt ſind, wie dieſes bei dem longitudinalen Anblaſen für andere Pfeifen der Fall iſt. Auch übt bei derſelben das Verhältniß der Weite zur Länge einen Einfluß auf den Ton aus u. dgl. m.

§. 172. Fortſetzung.

Einen weſentlichen Einfluß auf die Höhe oder Tiefe des Tones, welchen eine Pfeife giebt, übt die Stärke des Anblaſens aus. Eine beiderſeits offene Pfeife, welche bei ſchwachem Anblaſen den Grundton giebt, giebt bei verſtärktem Anblaſen höhere Töne, deren Schwingungszahlen, wenn wir die Schwingungszahl des Grundtones gleich 1 ſetzen, ſich zu dieſer wie die Zahlen 2, 3, 4 . . . verhalten, indem nehmlich ſtatt eines Schwingungsknotens deren auch 2, 3, 4 . . . entſtehen können, wie dieſes Fig. 195 zeigt. (In der erſten der abgebildeten Pfeifen liegen die Schwingungsknoten um $1/4$ und $3/4$ der Länge, in der zweiten um $1/6$, $3/6$ und $5/6$, in der dritten um $1/8$, $3/8$, $5/8$ und $7/8$ der Länge vom offenen Ende.)

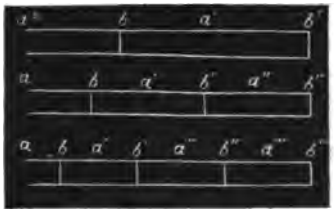
(Fig. 195.)



Man begreift hiernach, wie auch bei einer Pfeife ohne Seitenöffnungen durch verſchiedenes Anblaſen verſchiedene Töne hervorgebracht werden können.

Aehnliches gilt auch von einer gedeckten Pfeife, jedoch mit dem Unterschiede, daß man hier bei verschiedener Stärke des Anblasens Töne erhält, deren Schwingungsmengen sich wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 ... verhalten, indem die Schwingungsknoten die in Fig. 196 angezeigte Lage haben. (In der ersten dieser Figuren liegt der Schwingungsknoten um $^1/_3$ der Länge, in der zweiten liegen dieselben um $^1/_5$ und $^3/_5$ und in der dritten um $^1/_7$, $^3/_7$ und $^5/_7$ vom offenen Ende.)

(Fig. 196.)



Während die in den Figuren 193 bis 196 mit b bezeichneten Stellen, in welchen die Luft fast ganz in Ruhe bleibt, Schwingungsknoten heißen, werden die mit a bezeichneten Stellen, in denen die Luft die stärkste Bewegung hat, Schwingungsbäuche genannt. In den Schwingungsknoten wechselt die Dichtigkeit der Luft am stärksten, in den Schwingungsbäuchen aber bleibt dieselbe unverändert. Dagegen findet in den Schwingungsknoten, wie schon gesagt, die geringste, in den Schwingungsbäuchen die stärkste Bewegung statt. Die Hin- und Herbewegung der Theile der zwischen zwei Schwingungsknoten enthaltenen Luftsäule, in Folge deren die Luft in den Schwingungsknoten aus der größten Verdichtung in die größte Verdünnung und dann wieder aus der größten Verdünnung in die größte Verdichtung übergeht, wird eine ganze Schwingung genannt. Während die Luftttheilchen zwischen dem ersten und zweiten Schwingungsknoten b und b', Fig. 195 und 196, sich in der Richtung von b nach b' hinbewegen, findet diese Bewegung zwischen dem zweiten und dritten Schwingungsknoten in der entgegengesetzten Richtung, also von b'' nach b' hin, aber zwischen dem dritten und vierten Schwingungsknoten wieder in der nehmlichen Richtung, wie zwischen dem ersten und zweiten, also von b'' nach b''' hin u. s. w. statt, in ähnlicher Art, wie wir früher bei einer in aliquoten Theilen schwingenden Saite (Fig. 189) gesehen haben, daß je zwei auf einander folgende Abtheilungen nach entgegengesetzten Richtungen schwingen. — Der Abstand von einem Schwingungsknoten zum nächstfolgenden wird eine halbe, bis zum zweitfolgenden eine ganze Wellenlänge, auch Wellenbreite genannt. Jede ganze Welle besteht also aus zwei nach entgegengesetzten Richtungen schwingenden Hälften. —

Man kann im Allgemeinen annehmen, daß die in einer Pfeife eingeschlossene Luftsäule sich leichter in aliquote Theile theilt, und daher leichter die höheren Töne hervorgehen, wenn die Luftsäule im Verhältniß zu ihrer Länge nur eine geringe Dicke hat, wie dieß z. B. beim Horn der Fall ist. — Die Töne, welche bei einer offenen Pfeife durch Theilung in aliquote Theile überhaupt möglicher Weise entstehen können, sind, wenn wir den Grundton mit $\underline{C}$ bezeichnen:

$1 = \underline{C}$	$7 = \overline{\text{a}}\text{is} +$	$13 = \overline{\text{as}} +$
$2 = \overline{C}$	$8 = \overline{c}$	$14 = \overline{\text{a}}\text{is} +$
$3 = G$	$9 = \overline{d}$	$15 = \overline{h}$
$4 = c$	$10 = \overline{e}$	$16 = \overline{\overline{c}}$
$5 = e$	$11 = \overline{\text{fis}} +$	$17 = \overline{\overline{\text{dis}}}$
$6 = g$	$12 = \overline{g}$	$18 = \overline{\overline{d}}$ u. s. w.

Die beigesetzten (+) Zeichen zeigen an, daß der wirklich hervorgehende Ton etwas höher, als der angegebene ist. Horn- und Trompetenbläser modificiren überdieß die Höhe des Tons durch das Einführen der Hand in das offene Ende.

Da die Pfeifen der Orgel immer den Grundton geben sollen, sich also die schwingende Luftsäule bei denselben nicht in mehrere aliquote Theile theilen darf, so darf ihre Weite im Verhältniß zur Länge nicht zu klein sein.

In Betreff des oben (§. 171) angeführten Hauptgesetzes über die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Länge der schwingenden Luftsäule haben wir noch anzuführen, daß, wenn man den Abstand eines Schwingungsknotens vom nächstfolgenden mißt, dieser Abstand zwar vollkommen genau dem obigen Gesetze entspricht, daß dagegen die Entfernung des dem Mundloche zunächst liegenden Schwingungknotens von dem Mundloche sich etwas kleiner, als diese Größe herausstellt. Wir werden daher annehmen müssen, daß die Dichtigkeit der schwingenden Luftsäule an dem Mundloche nicht, wie wir oben (§. 171) angegeben haben, gänzlich unverändert bleibt, sondern schon eine kleine Aenderung erleidet, und daher die volle Länge der schwingenden Luftsäule sich noch etwas über das Mundloch hinaus erstreckt. Die Größe dieses Unterschiedes ändert sich mit der Gestalt und Größe des Mundloches. — Man benutzt diesen Umstand für die Stimmung der Orgelpfeifen, welche nahezu, aber nicht ganz genau den verlangten Ton geben, indem man neben dem Mundloche zwei Lappen anbringt, durch deren verschiedene Biegung sich der Ton etwas erhöhen oder erniedrigen läßt, bis derselbe genau in der verlangten Weise erhalten wird. — Aehnliches gilt bei Instrumenten, welche mit dem Munde geblasen werden, von den Lippen des Spielers.

§. 173. Zungenpfeifen.

In den Zungenpfeifen wird zunächst durch einen eingeblasenen Luftstrom ein elastisches Blättchen in Bewegung gesetzt, welches seine schwingende Bewegung der in der Pfeife eingeschlossenen Luftsäule mittheilt. Es gehören hierher die Clarinette, die Hoboe, das Fagott, die Pfeifen an der Orgel, welche man Schnarrwerke nennt, die kleinen blechenen Trompeten und Hörner, welche den Kindern zum Spielwerk dienen, u. dgl. m.

Ist der Ton, welchen das für sich allein schwingende elastische Blättchen giebt, von der Art, daß auch die in der Röhre eingeschlossene Luftsäule, indem sie sich in mehr oder weniger aliquote Theile theilt, denselben Ton geben kann, so geht auch in der Verbindung beider der nehmliche Ton hervor, d. h. derjenige Ton, welchen das elastische Blättchen, wenn es für sich allein schwingt, erzeugt. Findet aber ein solches Verhältniß nicht statt, so modificiren sich die Schwingungen des Blättchens und der Luft in der Pfeife gegenseitig und zwar allemal in der Art, daß dieselben vollkommen gleichzeitig erfolgen. — Eine umfassendere Auseinandersetzung dieses verwickelten Gegenstandes würde uns jedoch hier zu weit führen.

Von den im Vorhergehenden behandelten sind in ihrer Entstehung diejenigen Töne verschieden, welche erzeugt werden, wenn ein Luftstrom an den Rändern fester Körper vorbeigeht. Nach den von Sondhauß in Neiße (1853) angestellten Untersuchungen ist die Schwingungszahl dieser Töne nahezu der Geschwindigkeit des bewegten Luftstromes proportional. Wahrscheinlich werden dieselben dadurch hervorgebracht, daß die bewegten Lufttheilchen durch die Reibung an den festen Körpern, an denen sie vorübergehen, in Schwingungen gerathen. Es gehören hierher die Töne, welche durch den Wind bei seinem Durchgange durch Spalten oder rundliche Oeffnungen erzeugt werden, ferner die Töne, welche entstehen, wenn man mit dem Munde gegen die Schneide eines Messers oder den Rand eines Papierblattes bläst u. dgl. m. — Eben so müssen natürlich auch umgekehrt Töne entstehen, wenn ein fester Körper rasch in ruhender Luft bewegt wird, z. B. die pfeifenden Töne, welche abgeschossene Kugeln erzeugen.

Vielleicht ist auch das Pfeifen mit dem Munde hierher zu rechnen, bei welchem zugleich die eingeschlossene Luftsäule mitschwingt und den Ton verstärkt.

§. 174. Die menschliche Stimme.

Das Hauptorgan, in welchem die menschliche Stimme erzeugt wird, ist der oberste Theil der Luftröhre, welcher der Kehlkopf genannt wird. Dieser besteht aus vier übereinander liegenden knorpeligen Ringen, welche durch verschiedene Muskeln in Bewegung gesetzt werden können. Der Kehlkopf ist inwendig mit einer Haut ausgekleidet, welche eine Fortsetzung der Luftröhre bildet, und ist oben durch zwei elastische Bänder, die Stimmbänder, welche nur eine schmale Spalte, die Stimmritze, zwischen sich lassen, geschlossen. Für gewöhnlich ist der Kehlkopf mit dem Kehldeckel bedeckt, welcher verhindert, daß die Speise beim Schlucken nicht durch die Stimmritze in den Kehlkopf und die Luftröhre, sondern in die dahinter liegende Speiseröhre gelangt.

Beim bloßen Athmen sind die Stimmbänder schlaff, und die Luft strömt durch die Stimmritze in den Kehlkopf, die Luftröhre und die beiden Lungensäcke aus und ein, ohne die Stimmbänder in Bewegung zu setzen. Beim Sprechen oder Singen dagegen sind die Stimmbänder angespannt und gerathen durch die ausströmende Luft in Schwingungen, welche sich der im Kehlkopfe und in der Mundhöhle eingeschlossenen Luft mittheilen. Das Stimmorgan scheint daher die meiste Aehnlichkeit mit den Zungenpfeifen zu haben. Je stärker die Stimmbänder angespannt sind, und je enger die Stimmritze ist, um so höher ist der erzeugte Ton. Die Stimme umfaßt bei den meisten Menschen ohngefähr zwei Oktaven. Das Artikulirte des Tones, daß wir bestimmte Laute vernehmen, wird durch die Stellung der Zunge, der Zähne, der Lippen u. s. w. hervorgebracht. Worin diese Modification des Tones, daß er zu einem bestimmten Laute wird, eigentlich besteht, darüber fehlt uns jede Kenntniß.

§. 175. Fortpflanzung des Schalles in der Luft.

Das gewöhnliche und vermöge des hohen Grades von Elasticität vollkommenste Fortpflanzungsmittel des Schalles ist die Luft.

Wenn man unter dem Recipienten einer Luftpumpe eine kleine Glocke aufhängt und dieselbe zum Tönen bringt, so wird der Klang derselben um so schwächer vernommen, je stärker man die Luft verdünnt.

Indem der tönende Körper eine ganze Schwingung einen Hin- und Hergang vollendet, und so einerseits die benachbarten Lufttheile, auf welche er stößt, aus der Stelle getrieben und verdichtet werden, an der andern Seite aber die hinter ihm liegenden Lufttheile sich ausdehnen und verdünnt werden, entsteht in der den tönenden Körper zunächst umgebenden Luftschicht abwechselnd eine Verdichtung und Verdünnung. Indem nun in dieser Luftschicht das gestörte Gleichgewicht nicht bloß hergestellt, sondern vermöge des Trägheitsgesetzes noch überschritten wird, bildet sich um die erste eine zweite Schicht, um diese eine dritte Schicht von abwechselnd verdichteter und verdünnter Luft, in ähnlicher Art, wie bei den Schwingungen, welche die Luft in einer tönenden Pfeife macht, wenn die in derselben eingeschlossene Luftsäule in aliquoten Theilen schwingt, — nur mit dem Unterschiede, daß die abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft, welche den Schall fortpflanzen, von einer Schicht zur andern fortschreiten, sich also immer weiter ausbreiten und von dem tönenden Körper entfernen, weshalb man dieselben auch fortschreitende nennt, während die einen Schall erzeugenden Schwingungen, da sie in dem nehmlichen begrenzten Raume geschehen, stehende genannt werden.

Ein anschauliches Bild von der sich immer mehr ausbreitenden Bewegung in der Luft, durch welche der Schall fortgepflanzt wird, giebt uns die fortschreitende Bewegung der Wellen im Wasser. Während aber diese sich kreisförmig in derselben Ebene ausbreiten, erweitern sich die Schallwellen nach allen Richtungen im Raume und hüllen, wie Kugelschichten, den tönenden Körper als Mittelpunkt ein.

So wie jede ganze Welle im Wasser aus einem erhöhten und einem vertieften Theile besteht, so unterscheidet man an der Schallwelle den verdichteten und den verdünnten Theil und nennt den ersteren nach der Analogie der Wellen im Wasser den Wellenberg, den letzteren das Wellenthal.

§. 176a. Geschwindigkeit des Schalles in der Luft.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der Schall sich in der Luft fortpflanzt, ist, verglichen mit der des Lichtes, eine sehr mäßige, wie eine Menge bekannter Erfahrungen lehrt. So vernimmt man von einem in der Entfernung einiger tausend Schritte abgefeuerten Schießgewehre den Knall erst mehrere Secunden später, als man den Blitz gewahrt. — Die Geschwindigkeit des Schalles ist für starke und schwache, für hohe und tiefe Töne dieselbe, wie schon daraus hervorgeht, daß bei einer Musik, welche man in der Ferne hört, die Harmonie nicht gestört wird, während dieselbe doch ganz aufgehoben werden müßte, wenn z. B. die höheren Töne früher zum Ohre gelangten, als die tieferen.

Die Geschwindigkeit des Schalles ist ferner von der Dichtigkeit oder vielmehr von der absoluten Elasticität der Luft unabhängig; sie wächst dagegen mit der specifischen Elasticität der Luft. Der Schall bewegt sich daher in wärmerer Luft schneller, als in kälterer, eben so in feuchter Luft etwas rascher, als in trockener. Außerdem ist auch die Richtung des Windes auf die Geschwindigkeit des Schalles von Einfluß. Man nimmt gewöhnlich an, daß der Wind den Schall um seine eigene Geschwindigkeit beschleunigt oder verzögert, wenn er in der Richtung weht, in welcher sich der Schall fortpflanzt, oder wenn er die entgegengesetzte Richtung hat; jedoch fehlt es zur Zeit noch an entscheidenden Versuchen, durch welche sich die Größe dieses Einflusses direct nachweisen ließe.

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Schalles in der Luft sind zuerst 1738 von den Mitgliedern der Pariser Akademie entscheidende Versuche angestellt und später mit großer Genauigkeit von anderen Physikern in den verschiedensten Gegenden der Erde, in der heißen und kalten Zone eben sowohl, als in der gemäßigten, wiederholt worden. Man mißt zu diesem Zwecke den geradlinigen Abstand zweier mehrere tausend Fuß von einander abstehenden Punkte mit größter Genauigkeit, feuert an dem einen mehrmals nach einander ein Geschütz ab und beobachtet an dem anderen Orte die Zwischenzeit zwischen der jedesmaligen Wahrnehmung des Blitzes und des zugehörigen Knalles. Man hat auf diese Art gefunden, daß der Schall sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegt und bei mäßiger Feuchtigkeit der Luft und einer Temperatur von 10^0 C., welches ohngefähr die mittlere Jahreswärme im mittleren Deutschland ist, ohngefähr 1044 par. Fuß in der Secunde durchläuft.

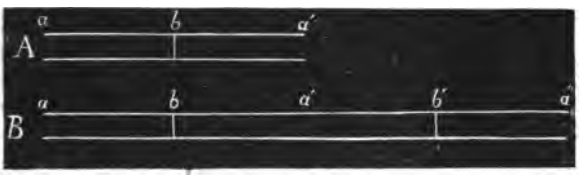
Eine Zu- oder Abnahme der Temperatur von 1^0 vermehrt oder vermindert die angegebene Geschwindigkeit um beinahe 2 Fuß.

Um den Einfluß des Windes und anderer Nebenumstände auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles von einem Stationspunkte zum andern zu eliminiren, pflegt man auf beiden Punkten nahezu gleichzeitig Geschütze abzufeuern, an jedem die Zwischenzeit zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Knalles des am andern Stationsorte abgefeuerten Geschützes zu beobachten und aus diesen Beobachtungen das Mittel zu nehmen.

§. 176 b. Fortsetzung.

Durch die Kenntniß der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft werden wir auch in den Stand gesetzt, die Länge der fortschreitenden Luftwellen, durch welche der Schall fortgepflanzt wird, mit der Wellenlänge der in einer tönenden Pfeife eingeschlossenen Luftsäule zu vergleichen. Wir wollen als Beispiel den tiefsten in der Musik gebräuchlichen Ton annehmen, welchen (zu Folge §. 166) eine beiderseits offene Pfeife von (ohngefähr) 32 Pariser (oder 33 rheinl.) Fuß Länge bei der einfachsten Schwingungsart giebt, wenn die in derselben eingeschlossene Luftsäule mit einem Schwingungsknoten in der Mitte, Fig. 197 A, schwingt. Der nehmliche Ton geht, wie wir oben (§. 172) gesehen haben, auch hervor, wenn wir uns — was für die folgende Vergleichung noch mehr Bequemlichkeit gewährt — eine Pfeife von der doppelten, also von 64 pariser Fuß Länge vorstellen und annehmen, daß in derselben die Luft mit 2 Schwingungsknoten schwingt, Fig. 197 B. Der in dieser Pfeife eingeschlossenen und in der angegebenen Art schwingenden Luftsäule haben wir oben den Namen einer ganzen Welle beigelegt, woraus sich dann für diese ganze Welle die Länge von (ohngefähr) 64 Fuß ergiebt. — Nach §. 166 macht die Luft sowohl in der Pfeife A, als auch in der Pfeife B, 16 Schwingungen in der Secunde bei der Temperatur von Null Grad. Da nun, wie wir im vorhergehenden §. gesehen haben, bei dieser Temperatur die den Schall in der Luft außerhalb der Pfeife fortpflanzenden Wellen $1044 - 2 \cdot 10 = 1024$ Fuß in der Secunde zurücklegen, und in einer Secunde 16 Schwingungen erfolgen, so muß die Länge dieser letzteren Wellen offenbar den 16. Theil von 1024 Fuß, d. h. 64 Fuß betragen. Es haben daher in dem behandelten Beispiele die fortschreitenden Wellen, durch welche der Schall in der Luft fortgepflanzt wird, dieselbe Länge, wie die stehenden Wellen in der tönenden Pfeife, durch welche der Schall erzeugt wird.

(Fig. 197.)



Die nehmliche Beziehung muß aber auch bei jeder anderen Pfeife stattfinden, welches auch immer die Länge derselben oder die Theilung der in derselben schwingenden Luftsäule sein mag, da in demselben Verhältniß die Zahl der Schwingungen wächst, in welchem die Länge der schwingenden Luftsäule abnimmt. Es geht daher aus der vorstehenden Entwickelung das wichtige Gesetz hervor:

In einer jeden tönenden Pfeife haben die den Schall erzeugenden stehenden Schallwellen die nehmliche Länge wie die fortschreitenden Wellen, durch welche der Schall in der Luft fortgepflanzt wird.

Vermöge dieses merkwürdigen Gesetzes kann die Schwingungszahl des Tones, welchen eine Pfeife giebt, gefunden werden, wenn man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft durch die Länge der Luftwellen dividirt*). Bezeichnen wir also die gesuchte Schwingungszahl mit n, die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft mit a und die Wellenlänge mit λ, so ist

$$n = \frac{a}{\lambda}.$$

(Wir werden diesem Gesetze auch weiter unten in der Lehre vom Lichte wieder begegnen, wo uns dasselbe die wichtigsten Dienste leisten wird.)

Zu Folge der obigen Darstellung ist für den tiefsten in der Musik gebräuchlichen Ton, welchen eine Orgelpfeife von 32 Par. Fuß Länge giebt, die Länge der zugehörigen Schallwelle = 64 Par. Fuß und für den höchsten in der Musik anwendbaren Ton, welchen eine Pfeife von $^1/_8$ Fuß Länge giebt, = $^1/_4$ Fuß oder 3 Zoll. Nach §. 167 Anmerk. kommen dem ersteren Tone 16, dem letzteren 4096 Schwingungen in der Secunde zu. Wenn man daher für den tiefsten überhaupt wahrnehmbaren Ton etwa 8, für den höchsten Ton 24000 Schwingungen annimmt, so ergiebt sich hieraus für ersteren eine Länge der Schallwellen von 128 Fuß, für letzteren von ohngefähr $^1/_2$ Zoll. Die verschiedenen Töne unterscheiden sich daher sowohl durch die Zahl ihrer Schwingungen, als auch durch die verschiedene Länge der Wellen, durch welche sie in der Luft fortgepflanzt werden. —

Bezeichnet C die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft bei Null Grad, C′ diese Geschwindigkeit bei t° C., so ist

$$C' = C \cdot \sqrt{1 + 0{,}00366t}.$$

Nach den genauesten Bestimmungen ist C = 332,3 Meter oder 1022,8 Par. Fuß. Umfaßt t nur eine geringe Zahl von Graden, so wird man annähernd setzen können

$$C' = C \cdot (1 + 0{,}00188t).$$

Es wächst also die Geschwindigkeit des Schalles bei einer Temperaturzunahme von 1° ohngefähr um 2 pro mille. In dem nehmlichen Verhältnisse muß auch bei einer tönenden Pfeife die Schwingungszahl zunehmen, indem, wie wir oben gesehen haben, die den Schall erzeugenden stehenden Wellen in derselben die nehmliche Länge haben, wie die fortschreitenden Wellen, durch welche der Schall in der Luft fortgepflanzt wird, und bei gegebener Wellenlänge die Fortpflanzungsgeschwindigkeit offenbar der Schwingungszahl proportional ist. Bei fortgesetztem Blasen erhöht sich daher der Ton einer Pfeife ein Wenig in Folge der Erwärmung der in derselben eingeschlossenen Luftsäule.

*§. 177. Geschwindigkeit des Schalles in Gasen.

Das zu Ende des vorhergehenden §. angeführte Gesetz, daß die stehenden Schallwellen in einer tönenden Pfeife dieselbe Länge haben, wie die den Schall fortpflanzenden Wellen in der Luft außerhalb der Pfeife, giebt uns, da dasselbe nicht blos für atmosphärische Luft, sondern auch für alle anderen Gase gilt, ein geeignetes Mittel, dessen sich Chladni zuerst bedient hat, um auch für andere Gase die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalles in denselben zu bestimmen. Zu diesem Zwecke wird ein weites Gefäß A (Fig. 198) mit der zu prüfenden Gasart gefüllt und in dasselbe eine Pfeife B so luftdicht eingesenkt, daß das Mundloch C sich innerhalb des Gefäßes befindet. Der aus dem Gefäße hervorragende Theil der Pfeife ist mit einem Hahne D versehen und am Ende mit einer Blase E verbunden, welche mit der nehmlichen Gasart gefüllt ist.

*) Man kann daher einer Orgelpfeife so zu sagen sofort ansehen, wie viel Schwingungen dem Tone derselben in der Secunde zukommen, indem bei einer beiderseits offenen Pfeife die Wellenlänge der doppelten, bei einer gedeckten Pfeife der vierfachen Länge der Pfeife gleich ist.

Wird nun nach Oeffnung des Hahnes auf die Blase ein Druck ausgeübt und so die Pfeife zum Tönen gebracht und die Höhe dieses Tones durch Vergleichung mit einem Monochord genau bestimmt, so giebt das Verhältniß zwischen der Schwingungszahl dieses Tones und des Tones, welchen die Pfeife giebt, wenn der ganze Apparat mit atmosphärischer Luft gefüllt ist, zugleich das Verhältniß der Geschwindigkeiten an, mit denen sich der Schall in der angewendeten Gasart und in der atmosphärischen Luft fortpflanzt. Da nehmlich beide Töne in der nehmlichen Pfeife entstehen, und folglich die Schallwellen in beiden Fällen eine gleiche Länge haben, (vorausgesetzt, daß beidemal sich nur in der Mitte ein Schwingungsknoten bildet, was bei offenen Pfeifen in der Regel stattfindet,) so müssen sich offenbar die von den Schallwellen in gleichen Zeiten zu durchlaufenden Wege wie die Schwingungszahlen verhalten. — Man hat auf diese Art gefunden, daß die Geschwindigkeit des Schalles in Gasen mit der specifischen Elasticität derselben wächst und daher unter allen Gasarten im Wasserstoffgase am größten, ohngefähr dreimal größer, als in der atmosphärischen Luft ist.

(Fig. 198.)

Für gleich hohe Töne ist folglich auch die Wellenlänge im Wasserstoffgase dreimal größer, als in der atmosphärischen Luft.

Uebrigens weichen die Angaben verschiedener Physiker über die Geschwindigkeit des Schalles in den Gasen sehr von einander ab, was wohl von der Reinheit der angewendeten Gase herrühren dürfte.

*§. 178. Geschwindigkeit des Schalles in festen und flüssigen Körpern.

Der Schall wird jedoch nicht bloß durch luftförmige, sondern auch durch flüssige und feste Körper fortgepflanzt, und zwar ins Besondere durch letztere bei Weitem stärker, als durch die Luft, wie viele bekannte Erfahrungen lehren. So werden z. B. der Donner sehr entfernter Geschütze, die Tritte in der Ferne marschirender Truppen, welche durch die Luft nicht mehr vernommen werden, noch gehört, wenn man das Ohr an die Erde legt.

Um die Geschwindigkeit zu bestimmen, mit welcher sich der Schall durch feste Körper fortpflanzt, hat Chladni ein ähnliches Verfahren angewendet, wie dasjenige, welches wir oben in Hinsicht der Gase beschrieben haben. Er versetzte nehmlich Stäbe aus verschiedenen Substanzen, Glas, Eisen, Kupfer, Holz u. s. w., indem er sie mit einem mit Kolophonium bestreuten wollenen Lappen rieb, in longitudinale Schwingungen und bestimmte die Höhe des auf diese Art erzeugten Tones. Das Verhältniß zwischen der Schwingungszahl dieses Tones und des Tones, welchen eine offene Pfeife von gleicher Länge giebt, giebt zugleich das Verhältniß der Geschwindigkeit, welche der Schall in dem festen Körper hat, zu der Geschwindigkeit des Schalles in der Luft an.

Aus diesen Versuchen ergab sich, daß der Schall durch feste Körper nicht bloß stärker, sondern auch weit schneller, als durch die Luft fortgepflanzt wird.

Daß auch das Wasser den Schall fortpflanze, läßt sich schon daraus schließen, daß Fische und andere im Wasser lebende Thiere mit Gehörwerkzeugen versehen sind, und wird bestätigt durch die bekannte Erfahrung, daß abgerichtete Fische durch den Ton einer Glocke oder Pfeife herbeigelockt werden können. Nach directen Versuchen mit einer ins Wasser eingesenkten Glocke, deren Ton in einer genau bestimmten Entfernung gehört wurde, pflanzt sich der Schall durch das Wasser langsamer, als durch feste Körper, aber mehrmals (etwa viermal) schneller, als in der Luft fort.

Es muß daher für gleich hohe Töne auch die Wellenlänge im Wasser viermal größer, als in der Luft sein.

Nach Chladni ist die Geschwindigkeit des Schalles im Zinn $7^1/_2$, im Silber 9, im Kupfer beinahe 12, im Eisen und Glase 17, in verschiedenen Holzarten 11 bis 17mal so groß, als in der Luft. Bei den weiter unten (S. 276) näher anzuführenden Versuchen, welche Biot in Paris an einer längeren Röhrenleitung angestellt hat, wurde jeder an dem einen Ende der Röhrenleitung hervorgebrachte Schall an dem andern Ende doppelt gehört, indem derselbe sich sowohl durch die in den gußeisernen Röhren eingeschlossene Luft, als auch durch diese selbst fortpflanzte. Für die letztere Art der Fortpflanzung ergab sich eine Geschwindigkeit, welche die durch die Luft $10^1/_2$mal übertraf, während nach Chladni's Versuchen die Geschwindigkeit des Schalles im Eisen 17mal größer ist, als in der Luft. Diese Verschiedenheit erklärt sich jedoch genügend daraus, daß die Röhrenleitung nicht aus einem einzigen Stücke Eisen, sondern aus mehreren, überdieß durch andere Metalle verbundenen Theilen bestand.

Nach den von Colladon und Sturm im Genfer See angestellten Versuchen beträgt die Geschwindigkeit des Schalles im Wasser 4420 Par. Fuß.

Die genannten Physiker machten bei dieser Gelegenheit die Bemerkung, daß der durch das Wasser fortgepflanzte Ton einer in der Ferne angeschlagenen Glocke nur ganz kurz und abgestoßen vernommen wurde und nicht, wie bei der Fortpflanzung durch die Luft, mit einem anhaltenden Klingen verbunden war.

*§. 179. Stärke des Schalles.

Bei der Fortpflanzung des Schalles betrachten wir außer der Geschwindigkeit, mit welcher derselbe sich verbreitet, auch noch die Stärke. Wir beschränken uns hierbei jedoch auf die atmosphärische Luft, da uns über andere Fortpflanzungsmittel des Schalles in Beziehung auf die Stärke desselben nur eine sehr geringe Zahl von Beobachtungen zu Gebote steht.

Indem der Schall sich in der Luft immer mehr ausbreitet, muß der Unterschied zwischen dem verdichteten und verdünnten Theile einer Schallwelle immer kleiner werden, in ähnlicher Art, wie bei der Ausbreitung der Wellen im Wasser die Höhe und Tiefe des Wellenberges und Thales sich immer mehr vermindern. Es muß daher die Stärke des Schalles mit der Entfernung abnehmen, und zwar, wie aus der Analogie mit dem Lichte, so wie auch aus mathematischen Principien folgt, im umgekehrten quadratischen Verhältniß der Entfernung. Der Schall muß also in der doppelten, dreifachen Entfernung viermal, neunmal schwächer u. s. w. sein, als in der einfachen Entfernung. Da uns zur Zeit noch geeignete Mittel zur Abmessung der Stärke des Schalles fehlen, so ist es auch nicht möglich, diesen theoretisch allerdings wohl begründeten Satz durch directe Versuche zu bestätigen.

Obschon der Schall sich um den Körper, durch welchen er erzeugt wird, nach allen Richtungen ausbreitet, so geschieht dieses doch nicht ganz gleichförmig. Der Schall hat bei gleicher Entfernung vom schallenden Körper eine größere Stärke in der Richtung, in welcher dieser seine Schwin-

gungen macht. Der Ton einer Trompete, der Knall eines Geschützes wird in der Richtung des Rohres stärker fortgepflanzt, als seitwärts. Wir verstehen einen Sprechenden deutlicher, wenn das Gesicht desselben uns zugewendet ist, u. dgl. m.

Die Stärke des Schalles hängt ferner von der Größe des schallenden Körpers, von der Größe und Geschwindigkeit der Schwingungen, welche derselbe macht, und von der Dichtigkeit der Luft ab.

Je größer die schwingende Oberfläche des schallenden Körpers ist, je größere Excursionen derselbe macht, und je rascher dieselben auf einander folgen, um so stärker ist der erzeugte Schall. Hohe Töne werden daher unter übrigens gleichen Umständen weiter gehört, als tiefe.

Die Schwächung, welche der Schall in verdünnter Luft erleidet, zeigt schon der zu Anfang von §. 175 angegebene Versuch mit der Luftpumpe. Eben so lehrt die Erfahrung, daß man auf hohen Bergen lauter sprechen muß, wenn man verstanden werden will, daß eine Pistole auf hohen Bergen einen schwächeren Knall giebt, als im Thale, u. dgl. m. Umgekehrt durften Personen, welche sich in einer Taucherglocke zu einer beträchtlichen Tiefe ins Meer hinabgelassen hatten, nur leise sprechen, wenn ihre Stimme nicht als ein übermäßig lautes Rufen vernommen werden sollte. — An kalten Tagen wird wegen der größeren Dichtigkeit der Luft der Schall weiter gehört, als an warmen.

Auf die Stärke des Schalles hat ferner der Wind einen wesentlichen Einfluß. Im Allgemeinen wird der Schall durch den Wind geschwächt, am stärksten in der Richtung, welche der Richtung des Windes entgegengesetzt ist.

Der Schall kann durch die Luft bis zu viel größeren Entfernungen ohne beträchtliche Schwächung fortgepflanzt werden, wenn die Luft in einer Röhre eingeschlossen und so die Ausbreitung des Schalles nach allen Seiten hin verhindert wird. Biot fand bei Versuchen, welche er bei Anlegung einer durch gußeiserne Röhren gebildeten Wasserleitung in Paris zur Nachtzeit anstellte, daß jedes an dem einen Ende der eine halbe Meile langen Röhrenleitung leise gesprochene Wort deutlich am andern Ende verstanden wurde. Man macht von dieser leichten Fortpflanzung des Schalles in Röhren nützliche Anwendungen. So erhält z. B. der Matrose im Mastkorbe eines Schiffes Befehle vom Capitain durch eine aus der Cajüte bis in den Mastkorb geführte Röhre und theilt auf demselben Wege diesem Nachrichten mit. Zu gleichem Zwecke werden in Fabriken die oft weit entlegenen Zimmer der Arbeiter durch blechene Röhren, Communicationsröhren, etwa von der Dicke eines Fingers, mit dem Geschäftszimmer des Dirigenten verbunden.

Der Schall kann auch aus einem Fortpflanzungsmittel in ein anderes übergehen; hierbei erleidet derselbe jedoch allemal eine Schwächung. Der Schall wird also um so mehr geschwächt werden, je öfter er genöthigt ist, aus einem Mittel in ein anderes überzugehen. Hieraus erklärt es sich, warum Wolle, Federn, überhaupt solche Körper, welche Luft zwischen sich enthalten, den Schall so sehr schwächen. Auch dürfte es zum Theil hierauf beruhen, daß ein Schall bei Tage, wo in der Luft beständige Strömungen kälterer und wärmerer Luftschichten stattfinden, nicht so weit gehört wird, als zur Nachtzeit, wo die Luft gleichmäßiger erwärmt ist.

Andererseits ist auch die Empfindlichkeit des Ohres in der Stille der Nachtzeit größer, als am Tage, wo unser Gehör durch mannigfaches Geräusch gleichsam abgestumpft ist, so wie wir auch in einem dunkeln Raume nach längerem Aufenthalte besser sehen,

als wenn wir in denselben plötzlich aus der Tageshelle versetzt werden, zur Nachtzeit die Sterne sehen, welche wir am Tage nicht wahrzunehmen vermögen u. dgl. m. Hierzu dürfte auch noch der Umstand treten, daß, je weniger zur Nachtzeit das Auge beschäftigt wird, um so mehr die Thätigkeit des Gehörsinnes hervortritt, wie dies durchgehends bei Blinden der Fall ist.

Als die größte Entfernung, bis zu welcher eine kräftige Mannesstimme noch verstanden wird, kann man etwa 800 Fuß annehmen. Doch konnte sich Foster zu Port Bowen im nördlichen Amerika zur Nachtzeit bei — 28° C. und großer Stille noch sehr gut mit einem $^1/_4$ Meile entfernten Manne unterhalten.

Außerordentlich groß sind die Entfernungen, bis zu welchen in einzelnen Fällen der Donner der Geschütze gehört worden ist; so hörte man 1792 die Kanonade von Mainz auf einer Höhe bei Eimbeck in einer Entfernung von 33 Meilen, 1809 die Kanonenschüsse auf Helgoland in Hannover 33 Meilen und die Kanonade von Antwerpen 1832 im sächsischen Erzgebirge 80 Meilen weit. Die Explosionen des Vulkans auf St. Vincent sind bis auf 75 Meilen weit gehört worden. In allen diesen Fällen ist jedoch der Schall nicht bloß durch die Luft, sondern auch durch die Erde oder das Wasser in so weite Entfernungen fortgepflanzt worden.

Endlich wollen wir noch anführen, daß der Schall sich im Allgemeinen leichter aus niedriger gelegenen Punkten nach höheren fortpflanzt, als umgekehrt, was sich leicht daraus erklärt, daß die Luft in der Höhe eine geringere Dichtigkeit besitzt, also schon an sich der hier erregte Schall eine geringere Stärke hat.

§. 180. Zurückwerfung des Schalles.

Wenn die Schallwellen bei ihrer Ausbreitung in der Luft auf einen in derselben befindlichen Körper treffen, so werden sie zurückgeworfen. Ist die Richtung der Schallwellen auf der zurückwerfenden Fläche senkrecht, so werden sie auch in derselben Richtung zurückgeworfen; fallen sie dagegen unter einem schiefen Winkel auf, so werden sie unter dem nehmlichen Winkel an der andern Seite zurückgeworfen, wie aus den Gesetzen der Wellenbewegung überhaupt (vergl. oben §. 57 und weiter unten §. 197 Anm.) hervorgeht.

Wenn das Ohr von der zurückwerfenden Fläche nur wenig entfernt ist, so vermag es bei der bedeutenden Geschwindigkeit des Schalles (1044 Par. Fuß in der Secunde) den zurückgeworfenen Schall nicht von dem direct angekommenen zu unterscheiden. Der erste fällt fast ganz mit dem letzteren zusammen und bewirkt daher eine Verstärkung desselben. Dieses ist z. B. bei jedem in einer mäßig großen Stube erregten und von den Wänden derselben reflectirten Schalle der Fall. Es wird daher ein Sprechender in einem Zimmer leichter, als im Freien verstanden, wozu auch die Resonanz der Wände des Zimmers (vergl. den folg. §.) beiträgt.

Befindet sich die zurückwerfende Wand in größerer Entfernung von dem Ohre, so kann es geschehen, daß der reflectirte Schall zum Theil, aber nicht mehr ganz mit dem direct ankommenden zusammenfällt und daher denselben theils verstärkt, theils verlängert, wodurch der Nachhall entsteht.

Ist die reflectirende Wand aber so weit vom Ohre entfernt, daß der zurückgeworfene Schall von dem direct anlangenden deutlich unterschieden werden kann, so entsteht der Wiederhall oder das Echo. — Man kann ohngefähr annehmen, daß das Ohr in der Secunde 9 Töne zu unterscheiden vermag. Soll also der reflectirte Schall von dem direct ankommenden deutlich unterschieden werden, so muß er $^1/_9$ Secunde später am Ohr anlangen, als jener. Wenn daher der Schall von dem Hörenden ausgeht, so muß die reflectirende Wand, wenn ein Echo entstehen soll, wenigstens so weit von demselben entfernt sein, daß der Schall zum Hin- und Hergange $^1/_9$ Secunde braucht. Nun durchläuft aber der Schall in einer ganzen Secunde 1044, also in $^1/_9$ Secunde 116 Fuß, und da derselbe sowohl den Weg nach der reflectirenden

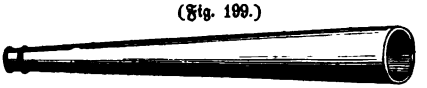
Wand hin, als von derselben zurück zu machen hat, so ergeben sich hieraus 58 Fuß als die kleinste Entfernung der reflectirenden Wand von dem Sprechenden, wenn ein Echo entstehen soll. Es versteht sich indeß wohl von selbst, daß diese 58 Fuß nur als eine ohngefähre Bestimmung anzusehen sind, welche durch die verschiedene Fähigkeit des Ohres, rasch auf einander folgende Töne noch von einander zu unterscheiden, bedingt wird.

Uebrigens ist nicht nothwendig, daß die reflectirenden Wände fest sind; selbst Wolken, wie Beobachtungen auf dem Meere gezeigt haben, vermögen den Schall zurückzuwerfen.

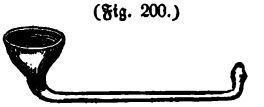
Aus den Gesetzen der Zurückwerfung des Schalles ergiebt sich auch noch leicht die Erklärung der sogenannten Flüstergallerien oder Sprachgewölbe. In Zimmern oder Gebäuden mit gewölbten Decken ist es nehmlich nicht selten der Fall, daß das an einer bestimmten Stelle leise Gesprochene an einer anderen ziemlich entfernten Stelle deutlich verstanden wird. Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, daß die von dem einen Punkte ausgehenden Schallwellen von dem Gewölbe so reflectirt werden, daß sie sich, wenn nicht sämmtlich, doch größtentheils in dem andern Punkte vereinigen. In den meisten Fällen ist die Erscheinung zufällig ohne besondere Absicht des Baumeisters entstanden. Um dieselbe absichtlich hervorzubringen, würde man für das Gewölbe eine elliptische Gestalt und als die beiden betreffenden Punkte die Brennpunkte der Ellipse zu wählen haben. (Vergl. oben §. 57.)

Besondere Vorrichtungen, welche auf der Zurückwerfung des Schalles beruhen, sind das Sprachrohr, Fig. 199, und das Hörrohr, Fig. 200.

(Fig. 199.)



(Fig. 200.)



Bei dem ersteren, welches aus einer mehrere Fuße langen kegelförmigen Röhre besteht, wird der am engeren, mit einem kurzen Mundstück versehenen Ende erregte Schall von den Wänden des Rohres theils zusammengehalten, theils so zurückgeworfen, daß die Schallwellen ziemlich parallel mit der Axe des Rohres austreten und daher am stärksten in dieser Richtung fortgepflanzt werden.

Das Hörrohr hat gerade die umgekehrte Einrichtung. Die von dem weiteren Ende aufgefangenen Schallwellen werden nach dem engeren Ende hin reflectirt und von hier durch ein gebogenes Rohr dem Ohre zugeführt.

Man unterscheidet ein- und mehrsylbige Echo's. Ein dreisylbiges Echo z. B. wiederholt die drei zuletzt gesprochenen Sylben und erfordert natürlich eine dreimal größere Entfernung der reflectirenden Wand, als ein einsylbiges. — Uebrigens leuchtet von selbst ein, daß die Zahl der Sylben, welche ein Echo wiederholt, nicht bloß von der Entfernung der reflectirenden Wand, sondern auch davon abhängt, in wie rascher Folge die Sylben nach einander ausgesprochen werden.

Man unterscheidet ferner einfache und mehrfache Echo's, je nachdem ein Schall nur ein- oder mehrmals wiederholt wird. Ein mehrfaches Echo entsteht, wenn der Schall von mehreren Wänden in verschiedenen Entfernungen reflectirt wird, und daher die zurückgeworfenen Wellen bei dem Ohre zu verschiedenen Zeiten nach einander ankommen, wobei es auch geschehen kann, daß dieselbe Welle eine mehrfache Reflexion an verschiedenen Wänden erfahren hat.

Zu den ausgezeichneten Echo's gehören außer vielen anderen folgende: An dem Lurleifelsen zwischen Bingen und Coblenz giebt es ein Echo, welches ein Wort siebenzehnmal wiederholt. Bei Adersbach in Böhmen unfern der schlesischen Grenze ist in dem sogenannten Felsenmeere ein Echo, welches sieben Sylben dreimal wiederholt. — An

dem Schlosse Simonetta bei Mailand entsteht durch zwei Flügel desselben ein Echo, durch welches ein aus einem Fenster des Hauptgebäudes abgefeuerter Pistolenschuß gegen fünfzigmal wiederholt wird.

Zu den berühmten Sprachgewölben gehört die Kuppel der St Paulskirche in London, in welcher man das leise Flüstern oder das Ticken einer Taschenuhr an einer Seite der Gallerie an der entgegengesetzten Seite hört; ferner die Kirche zu Glocester, in welcher sich zwei ganz leise redende Personen auf der Gallerie in dem Abstande von 150 Fuß unterhalten können. In der Sternwarte zu Paris befindet sich ein absichtlich elliptisch gewölbtes Zimmer, welches in seinen beiden Brennpunkten die beabsichtigte Erscheinung zeigt. Auch gehört hierher das im Alterthume berühmte Ohr des Dionysius in den Steinbrüchen bei Syrakus, welches zum Gefängniß gedient haben soll, und in dessen Gewölben ebenfalls die angeführte akustische Erscheinung sich zeigt.

Das Sprachrohr ist 1670 von Morland in England erfunden worden und wird gewöhnlich aus Blech verfertigt, wofür man jedoch auch Pappe nehmen kann, da die Beschaffenheit der Wände, aus denen dasselbe besteht, auf die Wirkung selbst ohne Einfluß ist. Die auf Schiffen gebräuchlichen sind selten länger, als 4 bis 6 Fuß, und haben am engeren Ende etwa 2, am weiteren 6 bis 10 Zoll Durchmesser. Man hat indeß auch Sprachrohre von 24 Fuß Länge hergestellt. Mit einem solchen kann eine kräftige Stimme etwa auf eine Viertelmeile weit verstanden und auf drei Viertelmeilen überhaupt noch gehört werden.

Der Gebrauch des Hörrohrs für Harthörige wird dadurch sehr beschränkt, daß durch die wiederholte Reflexion des Schalles an den Wänden des Rohres und durch das Mittönen derselben ein den beabsichtigenden Effect störendes Brausen und Summen entsteht.

*§. 181. Mittönende Schwingungen, Resonanz.

Durch die Schwingungen eines tönenden Körpers kann auch ein anderer mit demselben verbundener Körper in Schwingungen versetzt und so zum Mittönen gebracht werden.

In dieser Hinsicht sind besonders von Savart in Paris (1819) sehr lehrreiche Versuche angestellt worden, von denen wir ins Besondere den folgenden herausheben:

Savart verband zwei einander ganz gleiche hölzerne Scheiben in der Mitte durch einen ebenfalls hölzernen Stab, so daß die Ebenen der Scheiben auf der Axe des Stabes senkrecht standen. Wenn er nun die eine dieser Scheiben durch Streichen mit einem Violinbogen in Schwingungen versetzte, so gerieth auch die andere Scheibe in Schwingungen und gab den nehmlichen Ton, und wenn er beide Scheiben vor dem Versuche mit feinem Sande bestreut hatte, so entstand auf beiden die nehmliche Klangfigur. — In diesem Versuche wurden zunächst durch die transversalen Schwingungen der gestrichenen Scheibe in dem Stabe longitudinale Schwingungen und durch diese in der mittönenden Scheibe wieder transversale Schwingungen hervorgerufen.

Durch die Schwingungen eines festen Körpers können jedoch nicht bloß andere mit demselben unmittelbar verbundene feste Körper, sondern auch die Luft, ferner durch die in der Luft sich fortpflanzenden Schwingungen andere in derselben befindliche feste Körper zum Mittönen gebracht werden. In dem letzten Falle muß jedoch der Körper, welcher mittönen soll, schon für sich allein oder durch Theilung in aliquote Theile den nehmlichen Ton geben.

Wenn man z. B. eine tönende Stimmgabel der Oeffnung einer Pfeife gegenüber hält, welche für sich nahe den nehmlichen Ton zu geben vermag, wie die Stimmgabel, so wird die in der Pfeife enthaltene Luftsäule zum Mittönen gebracht.

Spannt man zwei Saiten in einiger Entfernung von einander auf und stimmt dieselben auf den nehmlichen Ton, streicht die eine mit einem Bogen,

so tönt auch die andere Saite mit. Dieses ist jedoch nicht mehr der Fall, wenn die Saiten eine solche Stimmung haben, daß auch nicht durch Theilung in aliquote Theile sich der Ton der einen in den Ton der andern verwandeln kann. — Man kann diese Verhältnisse dadurch sichtbar machen, daß man auf die eine Saite ein kleines etwas gebogenes Streifchen Papier legt und dann die andere Saite mit dem Bogen streicht. Haben beide Saiten eine gleiche Stimmung, so wird das Streifchen Papier abgeworfen; dieses geschieht nicht, wenn die Saiten verschiedene Stimmung haben.

Durch das Mittönen anderer Körper wird in vielen Fällen eine bedeutende Verstärkung des Tones hervorgebracht. Dieses ist ins Besondere der Zweck des Resonanzbodens bei musikalischen Instrumenten. Das Mittönen des Resonanzbodens für Töne, welche verschiedene Höhe haben, wird dadurch ermöglicht, daß sich derselbe auf verschiedene Weise durch Knotenlinien in aliquote Theile theilt.

Eine angeschlagene Stimmgabel, frei in der Hand gehalten, giebt nur einen schwachen Ton; dieser wird bedeutend verstärkt, wenn man den Stiel der Stimmgabel auf einen Resonanzboden stellt.

Die Mauern und Pfeiler einer Kirche erzittern mehr oder weniger beim Läuten der Glocken.

Daß eine Stimme in einem Zimmer stärker vernommen wird, als im Freien, beruht, wie wir oben gesehen haben, theils auf der Reflexion des Schalles von den Wänden des Zimmers, zum großen Theile aber auch auf der Resonanz dieser Wände.

Die Resonanz bewirkt jedoch nicht blos eine Verstärkung, sondern in vielen Fällen auch eine eigenthümliche Modification des Tones, welchen wir Klang nennen. So beruht z. B. die Eigenthümlichkeit, durch welche sich bei gleicher Höhe der Ton einer Flöte, einer Clarinette und anderer Blasinstrumente von einander unterscheiden, wesentlich auf dem Mittönen der festen Wände derselben.

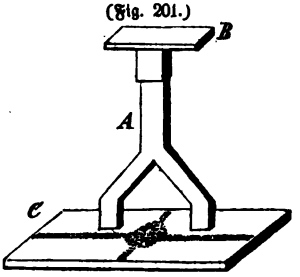
§. 182. Interferenz der Schallwellen.

So wie zwei im Wasser gleichzeitig erregte Wellen sich über die Oberfläche desselben ausbreiten, ohne sich zu stören, so können auch in der Luft mehrere Töne sich zugleich fortpflanzen. An den Durchkreuzungsstellen zweier im Wasser fortschreitenden Wellen, findet da, wo Berg und Berg oder Thal und Thal zusammentreffen, eine Vergrößerung des Wellenberges oder Wellenthales, und da, wo ein Berg der einen Welle mit einem Thale der andern zusammentrifft, eine Verminderung oder ein gänzliches Aufheben statt. Eben so müssen zwei in der Luft zugleich sich fortpflanzende Schallwellen bei ihrem Zusammentreffen sich entweder verstärken oder schwächen, je nachdem die schwingende Bewegung der zusammentreffenden Theile nach gleicher oder entgegengesetzter Richtung hin erfolgt.

Wenn man an den entgegengesetzten Seiten der drehbaren Scheibe einer Sirene (§. 166) zwei Röhren so anbringt, daß die Mündung der einen sich gleichzeitig einer Lücke der Scheibe gegenüber befindet, wenn die Mündung der andern irgend einer andern Lücke, etwa der nächstfolgenden, gegenübersteht, so vernimmt man, wenn man bald durch eine, bald durch die andere Röhre einen Luftstrom gehen läßt, bei gleich rascher Umdrehung der Scheibe in beiden Fällen denselben Ton. Dieser verschwindet aber und man vernimmt nur ein Sausen, wenn gleichzeitig durch beide Röhren mit gleicher Stärke geblasen wird.

Man sieht hieraus, daß zwei gleich hohe Töne sich nicht allemal verstärken, sondern unter Umständen sich auch schwächen und aufheben können. Man nennt diese Erscheinung Interferenz.*)

(Fig. 201.)



Ueber die Interferenz der Schallwellen führen wir noch folgenden Versuch an: Eine Röhre A, Fig. 201, von Pappe oder Holz spaltet sich unten gabelförmig in zwei Aeste, welche nicht verschlossen sind. Das obere breitere Ende der Röhre ist mit einer schwach gespannten Membran überzogen, auf welche feiner Sand aufgestreut ist. Eine gläserne oder metallene Scheibe C wird durch Streichen mit einem Violinbogen in tönende Schwingungen versetzt, in derselben Art, wie man dieß bei Erzeugung der Chladni'schen Figuren zu thun pflegt. Hält man nun die Röhre mit dem einen offenen Ende der Gabel über die Mitte eines schwingenden Theiles der Scheibe, so geräth der auf die Membrane gestreute Sand in lebhafte Bewegung; dasselbe ist ferner der Fall, wenn man beide offene Enden über zwei nach gleicher Richtung schwingende Theile der Scheibe hält; der Sand bleibt dagegen in Ruhe, wenn man die beiden Enden der Gabel über zwei symmetrische Stellen der Scheibe hält, welche nach entgegengesetzten Richtungen schwingen, d. h. zwei solche Stellen, welche durch eine einfache Knotenlinie getrennt sind, wie dieß Fig. 201 zeigt. Während nehmlich der eine schwingende Theil eine Verdichtung der Luft in der Röhre hervorbringt, bewirkt der andere nach der entgegengesetzten Richtung schwingende Theil eine Verdünnung, und eben so umgekehrt, und indem diese Verdichtung und Verdünnung sich aufheben, bleibt die Luft im oberen Theile der Röhre, so wie die Membran und der aufgestreute Sand in Ruhe.

Auf der Interferenz der Schallwellen beruht auch das abwechselnde Stärker- und Schwächerwerden des Tones, welchen man vernimmt, wenn man zwei Saiten oder noch besser zwei Orgelpfeifen, welche in ihrer Stimmung ein Wenig von einander abweichen, gleichzeitig tönen läßt. Die Erklärung dieser Erscheinung, welcher man den wenig bezeichnenden Namen Stöße gegeben hat, ist folgende: Nehmen wir an, daß der eine tönende Körper in derselben Zeit genau 100 Schwingungen vollende, in welcher der andere 101 Schwingungen macht, so werden sich dieselben nach je 100 Schwingungen des ersten und je 101 Schwingungen des andern in ganz gleichen Schwingungszuständen befinden und daher die größte Verstärkung des Tones bewirken. In der Mitte dieser Zeit schwingen beide nach gerade entgegengesetzten Richtungen, und es muß daher jetzt die größte Schwächung des Tones eintreten. Braucht daher der eine tönende Körper zu 100 Schwingungen, der andere zu 101 Schwingungen eine Secunde Zeit, so wird in jeder Secunde ein Stoß erfolgen. Wenn dagegen der eine tönende Körper in der Secunde 100, der andere 103 Schwingungen macht, so entstehen in jeder Secunde drei Stöße, weil nach je $33\frac{1}{3}$ Schwingungen des einen und $34\frac{1}{3}$ Schwingungen des andern die Schwingungszustände derselben übereinstimmen u. s. w. Ueberhaupt ist die Anzahl der in einer bestimmten Zeit erfolgenden Stöße gleich dem Unterschiede in der Zahl der Schwingungen, welche die beiden tönenden Körper in dieser Zeit vollenden.

Wenn die Stöße sehr rasch auf einander folgen, so vermögen sie selbst die Empfindung eines besonderen Tones hervorzurufen. Man nennt dergleichen Töne Combinationstöne. Wenn man z. B. auf einer Orgel zwei Pfeifen zugleich tönen läßt, welche um eine Quinte aus einander liegen, so hört man zugleich die untere Octave des tieferen Tones. Macht nehmlich dieser in der Secunde 240, also die Quinte desselben 360 Schwingungen, so müssen in der Secunde 120 Stöße erfolgen, welche die untere Octave des ersteren Tones erzeugen.

Man bemerkt die Erscheinung der Stöße, das abwechselnde Anschwellen und Nachlassen des Tones auch sehr deutlich an Glocken, welche einen längere Zeit anhaltenden Ton geben. Wie wir oben in §. 169 gesehen haben, schwingt eine tönende Glocke allemal in aliquoten Theilen. Wenn nun die Glocke keine vollkommen symmetrische Gestalt hat oder nicht aus einer ganz gleichförmigen Masse besteht, wie dieß fast bei allen Glocken

*) Von dem englischen Worte to interfere zusammentreffen, ein zuerst von Young in die Wissenschaft eingeführter Ausdruck.

der Fall ist, so werden auch die Theile derselben nicht genau gleichzeitig schwingen, sondern ein Wenig von einander abweichen, also aus den nehmlichen Gründen, welche wir oben für zwei tönende Körper, deren Schwingungszahlen sich um ein Geringes unterscheiden, kennen gelernt haben, die Erscheinung der Stöße hervorbringen.

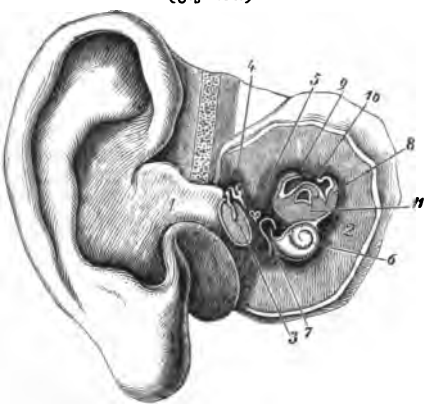
*§. 183. Das Organ des Gehörs.

Während wir über den Bau des Auges und die Bestimmung der dasselbe zusammensetzenden Theile, wie wir weiter unten sehen werden, sehr befriedigende Rechenschaft zu geben vermögen, ist uns die Verrichtung der einzelnen Theile des Gehörorganes nur unvollkommen bekannt.

Man unterscheidet bei diesem das äußere, mittlere und innere Ohr. Fig. 202 stellt einen Durchschnitt desselben dar.

Zu dem äußeren Ohre rechnet man die Ohrmuschel und den etwa $^3/_4$ Zoll langen und $^1/_4$ bis $^1/_3$ Zoll weiten Gehörgang (1), welcher durch eine Haut, das Trommelfell (3), geschlossen und von dem mittleren Ohr geschieden wird.

(Fig. 202.)



(Fig. 203.)

(Fig. 204.)

Das mittlere Ohr oder die Paukenhöhle ist eine etwa $^1/_4$ Zoll im Durchmesser haltende Höhlung, welche so wie das innere Ohr in dem Felsenbeine (2) liegt, mit einer feinen Haut ausgefüttert und mit Luft angefüllt ist. In der Paukenhöhle liegen vier mit einander verbundene kleine Knöchelchen, der Hammer, der Ambos, das Linsenbein (4) und der Steigbügel (5), Fig. 202. In Fig. 203 und 204 sind dieselben etwas vergrößert abgebildet; Fig. 203 zeigt dieselben verbunden, Fig. 204 getrennt; (1) ist der Hammer, (2) der Ambos, (3) das Linsenbein und (4) der Steigbügel. Die Paukenhöhle steht durch einen Canal, die eustachische Röhre, mit der Mundhöhle in Verbindung, wodurch die Luft in der Paukenhöhle erneuert und im Gleichgewichte mit der äußeren Luft erhalten werden kann.

Auf das mittlere Ohr folgt das innere Ohr oder Labyrinth, welches aus verschiedenen knöchernen Höhlungen besteht. Es gehören hierher die Schnecke (6) und die drei halbcirkelförmigen Kanäle (8, 9, 10). Diese vereinigen sich in eine gemeinschaftliche Höhle (11), in welche sich der Gehörnerv ausbreitet, welcher zuletzt ganz weich und flüssig wird. Das Labyrinth steht mit der Paukenhöhle durch zwei mit einer feinen Haut überzogene Oeffnungen in Verbindung.

Ueber die Verrichtung dieser Theile vermögen wir nur im Allgemeinen anzugeben, daß die in der Luft erregten Schallwellen von der Ohrmuschel aufgefangen werden, durch den Gehörgang zum Trommelfell gelangen, welchem sie, so wie der in der Paukenhöhle eingeschlossenen Luft und den vier Gehörknöchelchen ihre schwingende Bewegung mittheilen und sich so bis zum Laby-

mith fortpflanzen, in welcher sich der Gehörnerv ausbreitet. Bemerken müssen wir jedoch, daß Personen, welche die Ohrmuschel verloren hatten, keine bedeutende Schwächung des Gehörs erfahren haben, und in einzelnen, seltenen Fällen sogar Taubheit durch Durchbohrung des Trommelfells geheilt worden ist. Dieses dürfte daher wohl hauptsächlich dazu bestimmt sein, die Paukenhöhle gegen das Eindringen fremdartiger Körper zu schützen, ohne jedoch die Fortpflanzung der Schallwellen zu hindern.

Endlich wollen wir noch anführen, daß auch andere Theile des Kopfes, ins Besondere die Zähne dazu beitragen können, den Schall nach dem Gehörnerven fortzupflanzen, wie man sich leicht überzeugt, wenn man einen tönenden Stab oder einen andern schallenden Körper an die Zähne hält, wodurch die Wahrnehmung des Schalles bedeutend verstärkt wird.

*§. 184. Historische Uebersicht.

Vor Christus. Die alten Griechen kannten das Gesetz, daß die Tonhöhe einer Saite unter übrigens gleichen Umständen ihrer Länge umgekehrt proportional ist.

1636 nach Chr. Mersenne in Frankreich ermittelt die Gesetze, nach denen die Tonhöhe einer Saite durch die Spannung und Dicke sich ändert.

1670. Der Engländer Morland erfindet das Sprachrohr.

1700. Sauveur in Frankreich erklärt die Erscheinungen der Combinationstöne und benutzt dieselben zur Bestimmung der Schwingungszahl der Luft in tönenden Pfeifen.

1730. Euler sucht die absoluten Schwingungszahlen der Töne aus theoretischen Betrachtungen herzuleiten.

1738. Die Mitglieder der Pariser Akademie stellen Versuche über die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft an.

1787. Chladni entdeckt die Klangfiguren.

1800. Derselbe sucht durch directe Versuche die absoluten Schwingungsmengen der Töne, ferner die Geschwindigkeit des Schalles in Gasen und festen Körpern zu bestimmen.

1819. Caignard de la Tour erfindet die Sirene und Savart in Paris unterwirft die Erscheinung der Resonanz einer näheren Untersuchung.

1825. Die Gebrüder Weber in Göttingen erweitern und begründen die Theorie der Wellen und erklären die Erscheinungen der Interferenz der Schallwellen.

Neunter Abschnitt.

Vom Lichte.

A. Vom Lichte im Allgemeinen.

§. 185. Hypothesen über das Licht.

Während uns die Art und Weise, wie der Schall entsteht, und wie derselbe zu unserem Ohre gelangt, sehr vollständig bekannt ist, gehen uns über das Wesen des Lichtes bestimmte Erfahrungen gänzlich ab. Ueber die Entstehung des Schalles, der unser Ohr afficirt, konnten wir durch den feineren

Sinn des Gesichtes Belehrung erhalten; über die Affection des Auges dürfen wir von keinem anderen Sinne Aufschluß erwarten. Wir müssen daher, um die Mannigfaltigkeit der optischen Erscheinungen unter ein allgemeines Gesetz zu bringen, hypothetische Annahmen zu Hülfe nehmen.

Zwei Hypothesen haben besonders allgemeine Verbreitung gefunden.

Nach der einen, der Emanationshypothese, als deren Repräsentanten wir Newton anführen können, besteht das Licht aus einer äußerst feinen, unwägbaren Materie, welche von den leuchtenden Körpern nach allen Richtungen hin ausströmt.

Nach der anderen, der Vibrationshypothese, entsteht das Licht durch äußerst feine Schwingungen der materiellen Theile der leuchtenden Körper und wird durch den Aether, eine sehr feine Materie, welche nach dieser Hypothese sowohl den Weltraum, als auch die Poren aller Körper erfüllt, in ähnlicher Art, wie die Schallwellen durch die Luft fortgepflanzt.

Die Vibrationshypothese ist schon 1690 von dem Holländer Huyghens aufgestellt und später durch Euler vertheidigt worden. Bis in die neueste Zeit haben jedoch die Physiker, durch Newton's Ansehen bewogen, fast allgemein der Emanationshypothese gehuldigt, bis Young's (1800), Fresnel's (1815), Frauenhofer's und Anderer Untersuchungen eine große Menge von Erscheinungen, ins Besondere die Interferenzerscheinungen (s. unten S. 208), näher und bestimmter kennen gelehrt haben, welche der Emanationshypothese direct entgegenstehen, während sich dieselben als einfache und nothwendige Folgerungen aus der Vibrationshypothese ergeben, weßhalb diese auch gegenwärtig allgemein angenommen wird, zumal man keine optische Erscheinung kennt, welche sich nicht genügend aus dieser Hypothese erklären ließe.

Ueber die Analogien, welche zu Folge der Vibrationshypothese zwischen Schall und Licht stattfinden, stellen wir hier vorläufig Folgendes übersichtlich zusammen:

Der Schall wird durch die Schwingungen, welche elastische Körper in ihrer ganzen Ausdehnung vollenden, hervorgerufen.	Das Licht wird durch die Erzitterungen der kleinsten Theilchen der leuchtenden Körper erzeugt.
Der Schall wird durch Wellen in der Luft fortgepflanzt.	Das Licht wird durch Wellen im Aether fortgepflanzt.
Die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft beträgt gegen 1044 Par. Fuß in der Secunde.	Die Geschwindigkeit des Lichtes im (freien) Aether des Weltraumes beträgt gegen 42,000 Meilen in der Secunde.
Durch die größere oder geringere Geschwindigkeit, mit welcher die tönenden Körper schwingen, gehen Töne von verschiedener Höhe hervor.	Durch die mehr oder weniger große Geschwindigkeit, mit welcher die kleinsten Theile der Körper erzittern, werden verschiedene Farben erzeugt.
Dem höchsten Tone kommt die größte, dem tiefsten Tone die kleinste Schwingungszahl zu.	Das violette Licht hat die größte, das rothe die kleinste Vibrationsgeschwindigkeit.
Die Zahl der Schwingungen in der Secunde beträgt beim höchsten wahrnehmbaren Tone 24,000, beim tiefsten 7.	Die Schwingungszahl für die Secunde beträgt beim violetten Lichte ohngefähr 800 Billionen, beim rothen 450 Billionen.
Schwingungen elastischer Körper, welche noch rascher oder noch langsamer erfolgen, werden vom Ohre nicht mehr als Schall vernommen.	Erzitterungen der kleinsten Theilchen der Körper, welche schneller oder langsamer geschehen, werden vom Auge nicht als Licht wahrgenommen, wiewohl sich dieselben durch anderweitige Wirkungen (chemische und thermische) zu erkennen geben.
Die Länge der Schallwellen in der Luft beträgt für den höchsten Ton ohngefähr einen halben Zoll, für den tiefsten 150 Fuß.	Die Länge der Aetherwellen ist für das violette Licht ohngefähr dem 70,000ten, für das rothe dem 40,000ten Theile eines Par. Zolles gleich.

Die Thatsachen, auf welche sich die hier für das Licht angeführten Zahlen gründen, die Methode, durch welche dieselben ermittelt worden sind, werden wir weiter unten (§. 209) kennen lernen.

Es unterscheiden sich aber hiernach die Schwingungen des Lichtes von denen des Schalles durch ihre unvergleichlich größere Feinheit, durch die größere Schnelligkeit, mit welcher dieselben erfolgen, und durch die größere Geschwindigkeit, mit welcher sie sich fortpflanzen.

Ein anderer specifischer Unterschied besteht noch in Folgendem: Während bei der Fortpflanzung der Schallwellen sich die Lufttheilchen in derselben Richtung, in welcher die Welle fortschreitet, also in der Richtung des Radius der Welle oder des Schallstrahles, hin und her bewegen, so daß jede ganze Welle aus einer verdichteten und einer verdünnten kugelförmigen, den schallenden Körper als Mittelpunkt einhüllenden Schicht besteht, muß man aus Gründen, welche wir weiter unten (§. 212) kennen lernen werden, bei den ebenfalls sphärischen Lichtwellen annehmen, daß die Theile des Aethers sich in einer auf den Lichtstrahl, d. h. auf den Radius der Welle senkrechten Richtung bewegen, in ähnlicher Art, wie bei den über die Oberfläche des Wassers sich in der nehmlichen Ebene ausbreitenden Wellen, bei denen die Wassertheile sich nicht sowohl fortschreitend, als vielmehr auf und nieder, also ebenfalls senkrecht auf den Radius der Welle bewegen.

Wenn man gegen ein langes und gespanntes Seil nahe an einem Ende einen Schlag ausübt, so gerathen die Theile desselben in eine fortschreitende wellenförmige Bewegung, welche ein anschauliches Bild von der Art und Weise gewährt, wie durch die Schwingungen der Theile des Aethers das Licht fortgepflanzt wird.

§. 186. Leuchtende und dunkele, durchsichtige und undurchsichtige Körper.

Nach ihrem verschiedenen Verhalten in Beziehung auf das Licht unterscheiden wir zunächst leuchtende Körper und dunkele Körper, welche uns nur dann sichtbar sind, wenn sie erleuchtet werden, d. h. wenn auf dieselben von selbstleuchtenden Körpern Licht auffällt, welches sie zurückwerfen. Sie hören daher auf, sichtbar zu sein, wenn ihnen dieses Licht entzogen wird.

Das von den leuchtenden Körpern ausgehende Licht besitzt eine sehr verschiedene Stärke. Bei einigen ist das Licht so stark, daß unser Auge dasselbe nicht zu ertragen vermag, so zunächst das Licht der Sonne, ferner das Licht des im Sauerstoffgase brennenden Phosphors, das Licht des im Knallgasgebläse glühenden Kalkes, das nach seinem Erfinder sogenannte Drummond'sche Kalklicht und das Licht, welches durch den electrischen Strom zwischen zwei einander genäherten Kohlenspitzen hervorgerufen wird. (Vergl. oben §. 146). Bei anderen Körpern ist das eigene Licht so schwach, daß wir es nur im Dunkeln, wenn unser Auge durch keine anderweitigen Lichteindrücke gereizt wird, wahrzunehmen vermögen, wie wir sogleich am mehreren Beispielen zeigen werden.

Während fast alle bekannten Körper bei starker Erhitzung glühend, d. h. selbstleuchtend werden, entwickeln einige Körper, welche man phosphorescirende nennt, schon bei der gewöhnlichen Lufttemperatur ein schwaches Licht, so z. B. der Phosphor, (welcher jedoch bei sehr niedrigen Temperaturen aufhört zu leuchten), ferner verschiedene Insecten und zahlreiche im Wasser lebende Thiere, von denen das nächtliche Leuchten des Meeres herrührt, endlich faules Holz und andere faulende Stoffe aus dem Thier- und Pflanzenreich*).

Andere Körper können durch eine mäßige Erwärmung oder dadurch, daß man sie eine kurze Zeit dem Lichte eines selbstleuchtenden Körpers, ins Beson-

*) Das Leuchten dieser Körper, so wie auch des Phosphors findet nach Schönbein nur in solcher Luft statt, welche Sauerstoff enthält, und dürfte daher als eine Folge langsam fortschreitender Oxydation anzusehen sein.

dere dem Sonnenlichte, ausgesetzt hat, phosphoresciren werden. Man beobachtet diese Erscheinung am Diamanten, ferner an kalkhaltigen Körpern, wie Marmor, Gyps, Eier- und Muschelschalen, an diesen vorzüglich dann, wenn sie vorher ausgeglüht worden sind. Auch organische, besonders weiße Körper, wie Papier, Stärke, Mehl u. a. m. sind der Phosphorescenz fähig.

Diese Erscheinung findet nach der Vibrationshypothese ihre Erklärung in der Annahme, daß die Theile der durch Bestrahlung phosphorescirenden Körper, indem sie von den durch den Aether sich fortpflanzenden Lichtwellen getroffen werden, selbst in Licht erzeugende Schwingungen gerathen, in ähnlicher Art, wie mittönende Körper durch die in der Luft fortschreitenden Schallwellen, welche dieselben treffen, in Schwingungen versetzt werden.

Das von den phosphorescirenden Körpern unter den angegebenen Bedingungen entwickelte Licht ist jedoch meistens so schwach, daß es nur in einem gänzlich dunkeln Raume, von welchem man alles andere Licht aufs sorgfältigste abgehalten hat, und nur nach längerem Verweilen des Auges in diesem Raume wahrgenommen, dagegen von einem durch anderes, stärkeres Licht gereizten Auge gar nicht bemerkt wird.

Da aber die Empfindlichkeit unseres Auges immer nur eine beschränkte ist, so vermögen wir auch überhaupt nicht darüber zu entscheiden, ob ein Körper, welcher uns als dunkel erscheint, gar kein eigenes Licht besitzt. Vielmehr lassen die angeführten Beispiele es als sehr möglich erscheinen, daß alle Körper und unter allen Umständen eigenes Licht haben, und daß es überhaupt keine scharfe Grenzlinie zwischen leuchtenden und dunkeln Körpern giebt, sondern daß sich dieselben nur durch die verschiedene Stärke ihres Lichtes von einander unterscheiden. Wenn daher im Folgenden von dunkeln Körpern die Rede ist, so soll hiermit nicht gesagt sein, daß diese Körper gar kein eigenes Licht besitzen, sondern wir bezeichnen mit dieser Benennung nur überhaupt solche Körper, welche uns für gewöhnlich nicht durch ihr eigenes, sondern durch das von stärker leuchtenden Körpern auf dieselben auffallende und von ihnen zurückgeworfene Licht sichtbar werden.

Wir unterscheiden ferner durchsichtige Körper, welche dem auffallenden Lichte einen Durchgang gestatten, und undurchsichtige. Allein auch in dieser Hinsicht findet keine absolute, sondern nur eine relative Verschiedenheit statt. Auch die dichtesten Körper, die Metalle, werden, in hinreichend dünne Blättchen ausgetrieben, durchsichtig. Wenn man ein dünnes Goldblatt auf eine Scheibe von weißem Glase aufklebt, so kann man durch dasselbe alle Gegenstände deutlich erkennen. Daß dieselben nicht etwa durch in dem Goldblatte befindliche feine Oeffnungen, etwa wie durch die Maschen eines feinen Drahtnetzes, sichtbar werden, sondern daß das Licht wirklich durch die Materie des Goldblattes hindurchgegangen ist, geht daraus hervor, daß weiße Gegenstände durch das Goldblatt gesehen, sich in einem grünlichen Lichte zeigen.

So wie es hiernach keinen vollkommen undurchsichtigen Körper giebt, so existirt andererseits auch kein vollkommen durchsichtiger Körper. Auch das Wasser hört in einer gewissen Dicke auf, durchsichtig zu sein. Auf dem Meeresboden kann man, auch bei einem ganz ruhigen und ebenen Wasserspiegel, in großer Tiefe keinen Gegenstand mehr unterscheiden. — Selbst die Luft ist nicht vollkommen durchsichtig. Die große Schwächung, welche das Licht der Sonne beim Auf- und Untergange erleidet, bei welchem die Sonnenstrahlen einen größeren Weg in den dichteren Schichten der Atmosphäre

zurückzulegen haben, als wenn die Sonne am hohen Himmel steht, führt zu dem Schlusse, daß, wenn die Ausdehnung und Dichtigkeit der Atmosphäre eine gewisse Grenze überschritte, endlich gar kein wahrnehmbares Licht mehr von der Sonne zu unserem Auge gelangen würde.

Bei den oben angeführten phosphorescirenden Körpern vermag selbst das so rasch vorübergehende Licht des electrischen Funkens die Erscheinung der Phosphorescenz hervorzurufen. Am wirksamsten zeigt sich jedoch die Bestrahlung durch das Sonnenlicht, Insolation. Schwerspath, welchen man zerstoßen, mit Eiweiß vermischt in Pasten geformt und ausgeglüht hat, der sogenannte Bologneser Leuchtstein und manche Flußspathe, welche man Chlorophane nennt, zeigen sich, wenn sie auch nur wenige Minuten und bei großer Kälte den Sonnenstrahlen ausgesetzt gewesen sind, selbst nach mehreren Wochen im Dunkeln noch leuchtend. Dies ist besonders dann der Fall, wenn man sie in der Zwischenzeit in einem dicht verschlossenen Behälter aufbewahrt hat.

Nach neueren Untersuchungen wird die Phosphorescenz vorzüglich durch die am meisten brechbaren Lichtstrahlen, die blauen und violetten, und selbst noch durch die dunkeln Strahlen jenseits der violetten hervorgerufen. Dieselbe dürfte in nahem Zusammenhange mit der weiter unten (§. 204 Anmerk.) anzuführenden Erscheinung der Fluorescenz stehn.

B. Von der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes oder der Optik im engeren Sinne.

§. 187. Lichtstrahl, Schatten.

Unter einem Lichtstrahle versteht man, (sowohl nach der Emanations- als nach der Vibrationshypothese,) die Linie, in welcher die Wirkung des Lichtes eines leuchtenden Punktes sich fortpflanzt. Geschieht diese Fortpflanzung innerhalb eines durchsichtigen Körpers, z. B. innerhalb der atmosphärischen Luft oder des Wassers, so wird dieser durchsichtige Körper das Fortpflanzungsmittel oder Medium genannt. So lange sich das Licht in einem Mittel von gleicher materieller Beschaffenheit fortpflanzt, so lange also das Licht z. B. durch solche Schichten der Atmosphäre hindurchgeht, welche eine gleiche Dichtigkeit haben, so ist der Weg desselben, wie unzählige bekannte Erfahrungen lehren, eine gerade Linie. So kann von einem leuchtenden Punkte das Licht nicht mehr in unser Auge gelangen, der Anblick desselben wird uns entzogen, wenn sich ein undurchsichtiger Körper in der geraden Linie befindet, welche unser Auge mit dem leuchtenden Punkte verbindet. Umgekehrt schließen wir, daß zwei Gegenstände und unser Auge sich in gerader Linie befinden, wenn der eine Gegenstand den andern verdeckt; ein Satz, welcher die Grundlage der gesammten Feldmeßkunst bildet. So wird z. B. eine gerade Linie auf dem Felde mit Stangen in der Art abgesteckt, daß jedesmal die folgende Stange durch die vorhergehende für das Auge verdeckt wird.

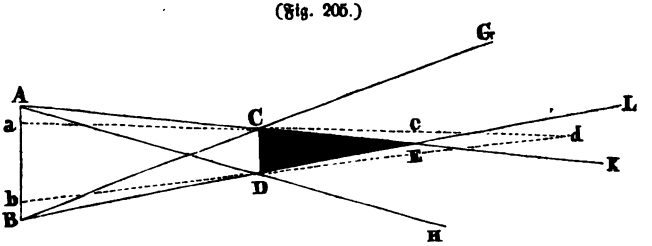
Da wir einen leuchtenden Gegenstand von allen Seiten zu sehen vermögen, so lange uns der Anblick desselben nicht durch das Zwischentreten eines anderen Körpers entzogen wird, so folgt hieraus, daß von einem leuchtenden Gegenstande Lichtstrahlen nach allen Richtungen hin ausgehen.

Den Raum hinter einem undurchsichtigen Körper, von welchem durch diesen das Licht eines leuchtenden Körpers abgehalten wird, nennen wir Schatten. Man unterscheidet Kernschatten und Halbschatten und versteht unter Kernschatten den Raum, in welchem von dem leuchtenden Körper gar kein Licht gelangen kann, und unter Halbschatten den Raum, in welchen nur ein Theil,

des leuchtenden Körpers Licht sendet. Ein innerhalb des Kernschattens befindliches Auge vermag den leuchtenden Körper gar nicht, ein innerhalb des Halbschattens befindliches Auge einen Theil desselben zu sehen.

Ist z. B. AB, Fig. 205, der Durchmesser der Sonne, CD der Durchmesser des Mondes, so gelangen in den kegelförmigen Raum des Kernschattens CDE gar keine Sonnenstrahlen, und ein innerhalb dieses Raumes befindliches Auge kann folglich die

(Fig. 205.)



Sonne gar nicht sehen und würde daher die Erscheinung einer totalen Sonnenfinsterniß haben. Ein innerhalb der Grenzen des Halbschattens zwischen CG und CK (oder zwischen DL und DH) etwa in o befindliches Auge empfängt noch Sonnenstrahlen von dem Theile Aa, während ihm der Anblick des übrigen Theiles der Sonnenscheibe aB durch den Mond entzogen wird. Die Erscheinung würde also in diesem Falle für das Auge die einer partialen Sonnenfinsterniß sein. Befände sich das Auge zwischen EL und EK, etwa in d, so würde sich demselben eine ringförmige Sonnenfinsterniß zeigen, indem dann für das Auge der mittlere Theil der Sonnenscheibe ab durch den Mond verdeckt wird, der Rand der Sonnenscheibe aber, in der Figur die Theile aA und Bb, sichtbar bliebe.

Mehrere Physiker, besonders Newton, haben in früherer Zeit die geradlinige Begrenzung des Schattenraumes und die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes überhaupt als einen Haupteinwand gegen die Vibrationshypothese angesehen, indem die Wellen im Wasser und die Schallwellen in der Luft auch in den Raum eindringen, welcher sich hinter einem denselben keinen Durchgang gestattenden Körper befindet, während uns der Anblick eines leuchtenden Punktes entzogen wird, wenn sich in der von demselben nach unserem Auge gezogenen geraden Linie ein undurchsichtiger Körper befindet. Hiergegen ist jedoch zunächst zu bemerken, daß auch der Schall durch das Zwischentreten eines die geradlinige Fortpflanzung aufhaltenden Körpers geschwächt wird, und dann werden wir weiter unten (§. 210), wo von der Beugung des Lichtes die Rede ist, sehen, daß auch in den eigentlichen Schattenraum Lichtwellen eindringen, welche wir nur deshalb für gewöhnlich nicht wahrnehmen, weil sie den ohne Unterbrechung in gerader Linie fortschreitenden Wellen an Stärke weit nachstehen.

§. 188. Erleuchtung.

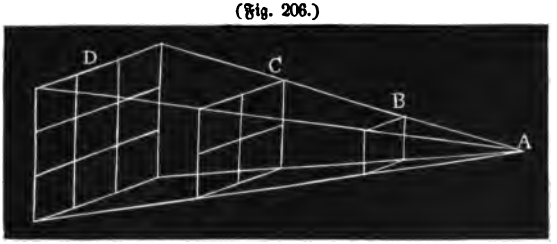
Wenn das Licht eines leuchtenden Körpers auf die Oberfläche eines dunkeln Körpers trifft, so nennen wir dieselbe erleuchtet. Die Stärke dieser Erleuchtung hängt zunächst von der Stärke des Lichtes des leuchtenden Körpers, ferner von dem Abstande der erleuchteten Fläche von dem leuchtenden Körper und von dem Winkel ab, unter welchem die Lichtstrahlen diese Fläche treffen.

Je größer die Stärke des Lichtes ist, welches der leuchtende Körper aussendet, um so größer muß auch die Stärke der bewirkten Erleuchtung sein; und zwar muß dieselbe offenbar mit jener in gleichem Verhältnisse zu- und abnehmen.

Haben zwei Flächen einen ungleichen Abstand von dem leuchtenden Körper und werden beide von den auffallenden Lichtstrahlen senkrecht oder unter gleichen Neigungswinkeln getroffen, so wird die nähere stärker erleuchtet,

als die fernere. Ist A, Fig. 206, ein leuchtender Punkt und sind B, C und D drei einander parallele Flächen in der einfachen, doppelten und dreifachen Entfernung, so ist offenbar C viermal und D neunmal so groß, als B, wenn alle drei von einer gleichen Menge von A ausgehender Lichtstrahlen getroffen werden. Demnach erhält ein B gleicher Theil der Fläche C nur den vierten Theil, und ein eben so großer Theil der Fläche D nur den neunten Theil des auf B fallenden Lichtes. Ueberhaupt nimmt die Stärke der Erleuchtung im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung ab. Dieser aus rein theoretischen Gründen sich ergebende Satz erleidet in der Erfahrung dadurch eine, in den meisten Fällen jedoch sehr geringe Modification, daß das Licht bei seinem Durchgange durch die atmosphärische Luft oder ein anderes durchsichtiges Mittel eine Schwächung erfährt, indem nicht alle Strahlen durchgelassen werden, sondern ein Theil derselben verschluckt wird.

(Fig. 206.)



Treffen die auf eine Fläche fallenden Strahlen dieselben nicht senkrecht, sondern schief, so ist unter sonst gleichen Umständen die Erleuchtung um so schwächer, je kleiner der Winkel ist, welchen die Strahlen mit der Fläche bilden. Ist AB, Fig. 207, eine gegen die auffallenden Lichtstrahlen schief geneigte, AC eine auf die Richtung derselben senkrechte Ebene, so wird AB nur von eben so vielen Lichtstrahlen getroffen, als AC; es muß daher ein Theil von AB in dem Verhältnisse, in welchem AC kleiner, als AB ist, schwächer erleuchtet sein, als ein gleich großer Theil von AC*).

(Fig. 207.)

Die vorhergehenden Sätze betreffen nur die Erleuchtung, d. h. die Menge der auf eine Fläche auffallenden Lichtstrahlen; hiervon ist jedoch der Glanz oder die Helligkeit, mit welcher die Fläche unserem Auge erscheint, verschieden, indem dieselbe durch die Menge der von der Fläche zurückgeworfenen Strahlen bestimmt wird, und Flächen von verschiedener Beschaffenheit oder bei verschiedener Lage gegen die auffallenden Strahlen das Licht nach einem sehr verschiedenen Verhältnisse reflectiren. Nur bei zwei Flächen von ganz gleicher Beschaffenheit und gleicher Neigung gegen die auffallenden Strahlen stehen Glanz und Erleuchtung in gleichem Verhältnisse.

Die angeführten Sätze finden nützliche Anwendung in der Photometrie, d. h. in der Kunst, die Stärke des Lichtes zweier leuchtenden Körper zu vergleichen. Wenn man in einiger Entfernung von einer weißen Wand eine Kerze und in größerer Entfernung vier eben solche und möglichst nahe zusammenstehende Kerzen aufstellt und die eine Kerze

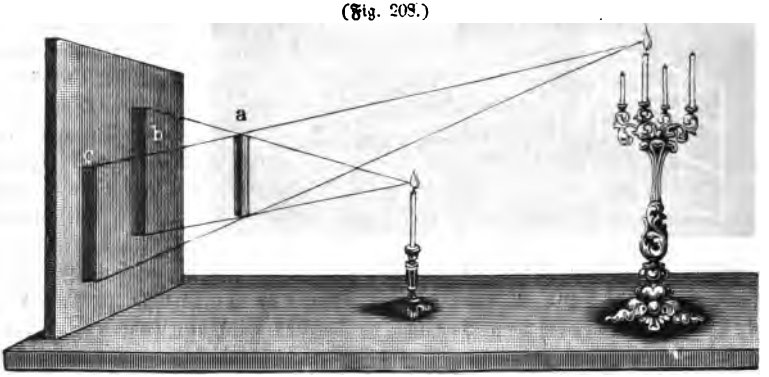
*) Für die mit der Trigonometrie bekannten Leser bemerken wir noch, daß

$$\frac{AC}{AB} = \sin ABC,$$

also die Erleuchtung dem Sinus des Neigungswinkels proportional ist.

oder die vier verbundenen Kerzen der Wand so lange nähert oder von derselben entfernt, bis die Schatten b und o, Fig. 208, welche dieselben von einem undurchsichtigen Körper a auf die weiße Wand werfen, gleich dunkel, oder was dasselbe sagen will, gleich hell erscheinen, so findet man in Uebereinstimmung mit dem oben über Erleuchtung

(Fig. 208.)



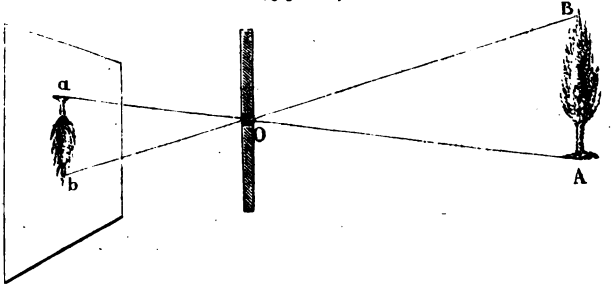
angeführten Gesetze, daß der Abstand der vier Kerzen von der weißen Wand die Entfernung der einen Kerze von der Wand um das Doppelte übertrifft. Es empfängt hiernach der Schatten b, welchen die eine Kerze wirft, von den vier Kerzen in der doppelten Entfernung eben so viel Licht, als der Schatten a, welchen die vier Kerzen werfen, von der einen Kerze in der einfachen Entfernung. — Nach demselben Verfahren, welches zuerst von Lambert 1760 angewendet worden ist, lassen sich überhaupt die Lichtstärken zweier Lichtquellen, z. B. einer Kerzen- und einer Gasflamme, vergleichen, indem man die Entfernungen derselben von einem weißen Schirme so lange abändert, bis die Schatten, welche sie auf dem Schirme von einem undurchsichtigen Körper erzeugen, gleich dunkel erscheinen. Dann verhalten sich zufolge des Obigen die Lichtstärken der beiden Flammen wie die Quadrate ihrer Entfernungen von dem Schirme.

Auf die Beschreibung der mannigfaltigen, zum Behufe der bequemern und schärfern Beobachtung erfundenen Apparate, welche den Namen Photometer führen und wesentlich auf dem oben entwickelten Principe beruhen, können wir jedoch hier nicht näher eingehen.

§. 189. Die optische Kammer.

Wenn man in der Wand eines verfinsterten Zimmers eine kleine Oeffnung O, Fig. 209, anbringt, und es befindet sich derselben gegenüber ein leuchtender oder erleuchteter Gegenstand AB, so gelangen die vom Punkte A

(Fig. 209.)



ausgehenden Strahlen in der Richtung Aa und die vom Punkte B ausgehenden Strahlen in der Richtung Bb durch die Oeffnung O in das verfinsterte Zimmer. Befindet sich daher in diesem der Oeffnung gegenüber eine

weiße Fläche, so entsteht auf derselben ein verkehrtes Bild ab des leuchtenden Gegenstandes AB. — Was wir von dem einen Gegenstande AB gesagt haben, gilt eben so von allen anderen vor der Oeffnung befindlichen Gegenständen. Befindet sich daher die Oeffnung in dem Fensterladen eines Zimmers, von welchem man eine freie Aussicht hat, so erhält man auf einer der Oeffnung gegenüberliegenden weißen Wand im Zimmer ein Bild der vor demselben sich ausbreitenden Landschaft mit den in derselben befindlichen Häusern, Bäumen, Menschen u. s. w.

Dieses Bild ist jedoch, wie gesagt, umgekehrt und hat überdieß keine volle Deutlichkeit, d. h. die einzelnen Theile desselben besitzen keine ganz scharfen Umrisse, weil die von einem Punkte, z. B. A, ausgehenden Lichtstrahlen sich nicht wieder in einem Punkte a vereinigen, sondern über eine kleine Fläche ausbreiten, welche um so größer ist, je größer die Oeffnung O ist. Diese darf daher nicht zu groß sein, wenn das Bild einigermaßen deutlich ausfallen soll. Andererseits darf jedoch auch die Oeffnung nicht allzu klein sein, da in gleichem Verhältnisse mit der Größe der Oeffnung die Menge des einfallenden Lichtes, also die Helligkeit des Bildes, abnimmt. Man kann daher in der optischen Kammer nur von stark erleuchteten, z. B. von der Sonne beschienenen Gegenständen, deutliche Bilder erhalten.

Wenn durch die Oeffnung O die Sonnenstrahlen einfallen, so erhält man auf einer gegenüberliegenden Wand ein Bild der Sonne. Dieses Bild hat, wie aus der obigen Darstellung folgt, allemal eine rundliche Gestalt, welches auch immer die Gestalt der Oeffnung ist, auch wenn diese z. B. dreieckig ist. Das Bild ist jedoch nur dann ein Kreis, wenn die auffangende Wand zur Axe des einfallenden Lichtkegels senkrecht ist; ist diese Bedingung nicht erfüllt, so hat das Sonnenbild eine elliptische Gestalt.

Wenn man in einem von der Sonne beschienenen Zimmer die Laden schließt, so erzeugt jede in denselben befindliche Oeffnung auf dem Fußboden oder der gegenüberliegenden Wand ein rundliches Sonnenbild. Eben dergleichen Sonnenbilder sieht man in dicht beschatteten und von der Sonne beschienenen Lauben entstehen, indem die Sonnenstrahlen durch die Lücken gehen, welche die Blätter zwischen sich lassen.

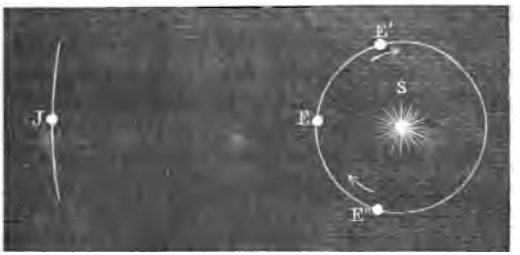
§. 190. Geschwindigkeit des Lichtes.

Das Licht pflanzt sich mit einer sehr großen Geschwindigkeit, aber nicht momentan fort. Es durchläuft nehmlich in einer Secunde ohngefähr 42,000 Meilen*), eine Geschwindigkeit, welche viel zu groß ist, als daß wir sie auf gewöhnliche Weise durch Beobachtungen auf der Erde, deren Durchmesser nur 1719 Meilen beträgt, abzumessen im Stande wären. Wir verdanken die Kenntniß derselben den Beobachtungen der Verfinsterungen der Trabanten des Jupiters. Wegen des sehr großen Durchmessers dieses Planeten und der verhältnißmäßig geringen Entfernung, in welcher die vier Monde denselben umkreisen, gehen die Monde bei jedem Umlauf um den Hauptplaneten durch den Schatten desselben hindurch und werden also verfinstert. Nur bei dem entferntesten ist dieses nicht jedes Mal der Fall. Da man diese Trabanten seit Erfindung der Fernröhre mit Sorgfalt beobachtet hat, so kennt man auch die mittlere Umlaufszeit eines jeden um den Jupiter sehr genau. Beobachtet man nun für irgend einen Trabanten zwei auf einander folgende Finsternisse, so findet man, daß die Zwischenzeit zwischen dem Eintritte derselben die mittlere Umlaufszeit dieses

*) Nach Enke 41,935 Meilen.

Trabanten übertrifft oder von derselben übertroffen wird, je nachdem die Erde sich in dieser Zeit von dem Jupiter entfernt oder demselben genähert hat. Wenn die Erde sich in E, Fig. 210, in ohngefähr gerader Linie zwischen der Sonne S und dem Jupiter J befindet, so beträgt ins Besondere für den nächsten Trabanten die Zeit von dem Eintritt einer Verfinsterung bis zur nächstfolgenden 42 Stunden 28′ 42″, und da hier die Entfernung der Erde vom Jupiter in der Zwischenzeit sich fast gar nicht ändert, so stimmt diese Zeit mit der wahren Umlaufszeit dieses Trabanten um den Jupiter überein. Wenn dagegen die Erde sich in E′ gerade vom Jupiter wegbewegt, so beträgt diese Zwischenzeit 14″ mehr, und wenn sich die Erde in E″ gerade auf den Jupiter zu bewegt, 14″ weniger. Im ersten Falle hat sich die Entfernung der Erde vom Jupiter in der Zwischenzeit von $42\frac{1}{2}$ Stunde um 590,000 Meilen vergrößert, im letzteren Falle um eben so viel verringert. Diese Verzögerung des Eintritts der Verfinsterung in dem einen und die Beschleunigung in dem anderen Falle läßt sich dadurch erklären, daß wir annehmen, das Licht gebrauche 14 Secunden Zeit, um 590,000 Meilen zu durchlaufen, und lege also ohngefähr 42,000 Meilen in der Secunde zurück, wonach es 8 Minuten 13″ gebrauchen muß, um von der Sonne zur Erde zu gelangen.

(Fig. 210.)



Wir verdanken die richtige Erklärung der angeführten Erscheinungen dem Scharfsinne des dänischen Astronomen Römer (1675).

Ein anderes, noch genaueres Mittel zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes bietet die Aberration dar, eine der Astronomie angehörige Erscheinung, auf deren nähere Erörterung wir hier nicht eingehen können.

In neuerer Zeit ist es Fizeau gelungen, auch durch auf der Erde angestellte Beobachtungen die Geschwindigkeit des Lichtes zu messen. Wir können jedoch auf die Auseinandersetzung des von demselben angewendeten sinnreichen Verfahrens hier nicht näher eingehen.

C. Von der Katoptrik oder der Zurückwerfung des Lichtes.

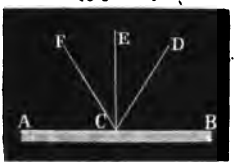
§. 191. Das Reflexionsgesetz.

Wir haben schon oben bemerkt, daß die nicht selbst leuchtenden Körper uns nur durch das von denselben zurückgeworfene Licht sichtbar werden. Kein Körper wirft jedoch alles auf ihn auffallende Licht zurück; ein Theil dieses Lichtes geht verloren, wird absorbirt, und wenn der Körper durchsichtig ist, so wird ein anderer Theil hindurchgelassen. Nur ein Theil des auffallenden Lichtes wird von der Oberfläche des Körpers zurückgeworfen; die verhältnißmäßige Größe dieses Theiles hängt zunächst von der Beschaffenheit der reflectirenden Oberfläche und dann auch von dem Neigungswinkel ab, welchen die auffallenden Strahlen mit derselben bilden. Die nehmliche Fläche reflectirt einen um so größeren Theil der auffallenden Strahlen, je kleiner dieser Neigungswinkel ist. Daher wird, besonders bei wenig glänzenden Flächen, der

Glanz auffallend vergrößert, wenn man sie so gegen das Licht hält, daß die auffallenden und die nach dem Auge reflectirten Strahlen einen sehr spitzen Winkel mit der reflectirenden Fläche bilden.

Um das Gesetz über die Lage der reflectirten Strahlen kürzer und bestimmter ausdrücken zu können, schicken wir noch folgende Begriffsbestimmungen voraus: — Das in dem Punkte C, Fig. 211, in welchem die reflectirende Fläche AB von einem auffallenden Strahle CD getroffen wird, errichtete Loth CE wird das Einfallsloth, der Winkel DCE, welchen der einfallende Strahl CD mit dem Einfallslothe CE bildet, der Einfallswinkel und der Winkel ECF, welchen der reflectirte Strahl CF mit dem Einfallslothe CE bildet, der Reflectionswinkel genannt. Hiernach läßt sich nun das Gesetz der Zurückwerfung so ausdrücken.

(Fig. 211.)



1) Der einfallende und der reflectirte Strahl liegen mit dem Einfallslothe in einer Ebene, also in einer Ebene, welche auf der reflectirenden Fläche senkrecht ist.

2) Der Reflectionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

Da dieses Gesetz durch unzählige bekannte Erfahrungen bestätigt wird, eine Menge genauer mathematischer und physikalischer Instrumente auf demselben beruht, so bedarf es keines besonderen Versuches, um dasselbe nachzuweisen.

Die Erklärung des Reflectionsgesetzes ergiebt sich nach der Vibrationshypothese aus den Gesetzen der Wellenbewegung überhaupt. (Vergl. oben § 57 und unten §. 197.)

§. 192. Die regelmäßige Reflexion.

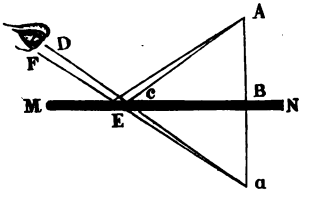
Man unterscheidet die regelmäßige und die unregelmäßige Reflexion. Durch die erstere, welche nur an glatten, polirten Flächen stattfindet, werden Bilder von den Körpern, von welchen das Licht ausgeht, hervorgebracht, während die letztere uns die Oberfläche der Körper, auf welche das Licht auffällt, sichtbar macht.

Man nennt dergleichen glatte Flächen, welche Bilder der Gegenstände zu zeigen vermögen, von denen Licht auf dieselben auffällt, Spiegel. Ein vollkommener Spiegel, d. h. eine vollkommen glatte Fläche, würde nur solche Bilder zeigen, aber selbst nicht sichtbar sein.

Man unterscheidet ebene und gekrümmte Spiegel; wir beschränken uns hier auf die Erörterung der Erscheinungen der ebenen Spiegel; von gekrümmten Spiegeln wird weiter unten (§. 215) die Rede sein.

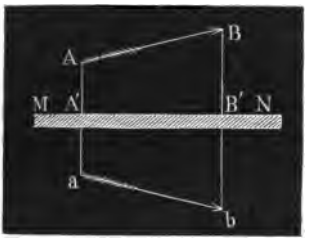
Wir gehen um größerer Einfachheit Willen von der Betrachtung eines vollkommen ebenen Spiegels aus. Ist MN, Fig. 212, der Durchschnitt eines solchen, A ein leuchtender Punkt vor demselben, so wird der senkrecht auffallende Strahl AB, welcher den Namen Hauptstrahl führt, in sich selbst zurückgeworfen; ein schief auffallender Strahl AC dagegen wird, da wir den Spiegel als vollkommen eben angenommen haben, in der Richtung CD so zurückgeworfen, daß

(Fig. 212.)



Winkel DCM gleich ACN ist. Verlängern wir AB und CD, bis sie sich in a schneiden, so ist Winkel BCa = DCM = ACN, daher auch AB = aB, d. h. die rückwärts fortgesetzte Verlängerung des reflectirten Strahles CD schneidet den verlängerten Hauptstrahl AB in einem Punkte a, welcher eben so weit hinter dem Spiegel liegt, als sich der leuchtende Punkt A vor demselben befindet. — Was wir für den einfallenden Strahl AC und für den reflectirten Strahl CD dargethan haben, läßt sich eben so für jeden anderen schief einfallenden Strahl, z. B. für den Strahl AE und den zugehörigen reflectirten Strahl EF erweisen. Die von dem leuchtenden Punkte A auf den Spiegel auffallenden Strahlen werden also sämmtlich so zurückgeworfen, daß sich die rückwärts fortgesetzten Verlängerungen der reflectirten Strahlen in einem Punkte a vereinigen, welcher eben so weit hinter dem Spiegel liegt, als sich der leuchtende Punkt A vor demselben befindet. Ein gegen den Spiegel gewendetes, etwa zwischen CD und EF befindliches Auge wird folglich von den reflectirten Strahlen ganz eben so afficirt werden, als wenn dieselben von dem Punkte a ausgegangen wären; es muß dasselbe daher in a ein Bild des leuchtenden Punktes A erblicken.

(Fig. 213.)



Es sei ferner AB, Fig. 213, ein leuchtender Gegenstand vor dem Spiegel MN; dann sind, wenn wir AA′ und BB′ senkrecht auf MN ziehen und aA′ = AA′ und bB′ = BB′ machen, a und b zu Folge des Vorhergehenden die hinter dem Spiegel erscheinenden Bilder der leuchtenden Punkte A und B. Da nun, wie leicht zu sehen, die Bilder aller zwischen A und B befindlichen Punkte des leuchtenden Gegenstandes AB zwischen a und b zu liegen kommen, so muß das vor dem Spiegel befindliche Auge in demselben ein Bild ab erblicken, welches mit dem Gegenstande AB gleiche Größe und Gestalt hat und eben so weit hinter dem Spiegel, als dieser vor demselben liegt.

Wenn der Gegenstand AB der Ebene des Spiegels MN parallel ist, so gilt dieses auch von dem Bilde ab; bildet der Gegenstand mit der Ebene des Spiegels einen Winkel, so bildet auch das Bild mit dem Spiegel an der andern Seite einen eben so großen Winkel. In einem unter 45^0 gegen den Horizont geneigten Spiegel erscheinen daher die Bilder aufrechter Gegenstände wagerecht, und die Bilder wagerechter Gegenstände aufrecht; und in einem wagerecht liegenden Spiegel, z. B. in der ebenen Oberfläche des Wassers, erscheinen die Bilder aufrechter Gegenstände auf den Kopf gestellt u. dgl. m.

Die vorhergehenden Sätze gelten, streng genommen, nur von einem vollkommen ebenen Spiegel. Ist dagegen die Oberfläche eines Spiegels nicht frei von Erhabenheiten und Vertiefungen, wie dieß selbst bei den aufs sorgfältigste polirten Spiegeln immer noch der Fall ist, so wird ein Theil der auffallenden Strahlen in der Art, wie wir dieß im folgenden Paragraphen ausführlicher erörtern werden, unregelmäßig und nur ein Theil mehr oder weniger genau so zurückgeworfen, daß der reflectirte und einfallende Strahl mit der Oberfläche des Spiegels gleiche Winkel bilden. Je vollkommener die Politur eines Spiegels ist, um so mehr überwiegen die regelmäßig reflec-

tirten Strahlen die unregelmäßig zurückgeworfenen, welche uns die spiegelnde Fläche selbst sichtbar machen, und um so schärfer und deutlicher sind die Bilder, welche wir in dem Spiegel erblicken.

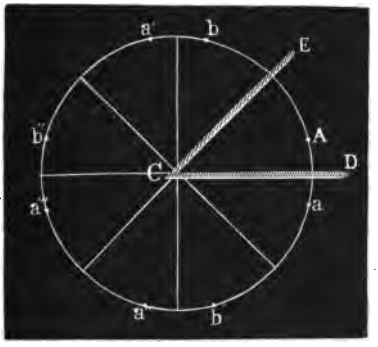
Schwach spiegelnde Flächen zeigen deutlichere Bilder, wenn die Strahlen von einem leuchtenden Gegenstande schief auf dieselben treffen, als wenn sie senkrecht auffallen. Der Grund dieser Erscheinung ist, daß die senkrecht auffallenden Strahlen eben sowohl die Erhabenheiten, als die Vertiefungen einer unebenen Fläche treffen und deshalb, wie wir im folgenden Paragraphen ausführlicher zeigen werden, bei der Zurückwerfung nach allen möglichen Richtungen zerstreut werden, während dagegen sehr schief auffallende Strahlen hauptsächlich nur die Gipfel der Erhabenheiten treffen.

Die vollkommensten Spiegel sind die Metallspiegel; die gewöhnlichen Glasspiegel, welche an der hinteren Seite mit Zinnamalgam belegt sind, leiden an dem wesentlichen Fehler, daß sie doppelte, auch wohl mehrfache Bilder geben, welche dadurch entstehen, daß die auffallenden Strahlen sowohl von der vorderen, als auch von der hinteren Fläche des Glases zurückgeworfen werden, ferner die von der hinteren Fläche reflectirten Strahlen zum Theil an der vorderen wieder nach Innen und dann abermals von der hinteren Fläche zurückgeworfen werden u. s. f. Diese Bilder decken sich, wenn der leuchtende Gegenstand und das Auge dem Spiegel senkrecht gegenüberstehen; sie treten deutlicher auseinander, wenn der leuchtende Gegenstand schmal, z. B. eine Lichtflamme ist, und die Strahlen schief auf den Spiegel auffallen und also auch schief nach dem Auge reflectirt werden. Zu optischen Versuchen wendet man daher bloß Metallspiegel oder an der Rückseite geschwärzte Scheiben von Spiegelglas an, welche nur von der vorderen Seite das Licht zurückwerfen, an der hinteren aber dasselbe absorbiren. Da diese Spiegel jedoch von dem auffallenden Lichte nur einen kleinen Theil reflectiren, so haben die in denselben entstehenden Bilder nur eine geringe Helligkeit; sie stehen daher in dieser Hinsicht den Metallspiegeln weit nach. — Da die härtesten Körper auch die vollkommenste Politur annehmen, so giebt unter den Metallen Stahl die besten Spiegel; dieselben leiden jedoch an dem Fehler, daß sie so leicht rosten. Die edlen Metalle Gold, Platin, Silber sind theils kostbar, theils haben sie keine hinreichende Härte, um eine vollkommene Politur anzunehmen. Man nimmt daher zu Metallspiegeln gewöhnlich eine Composition aus Kupfer und Zinn oder Kupfer, Zinn und Zink oder Nickel, welche eine hinreichende Härte besitzt, um eine genügende Politur anzunehmen.

Wenn man zwei Spiegel einander parallel gegenüberstellt, so erscheinen von einem zwischen denselben befindlichen Gegenstande unzählige Bilder, indem jedes Bild in dem einen wieder ein Bild in dem anderen hervorruft. Diese wiederholten Bilder werden jedoch immer schwächer, da mit jeder folgenden Reflexion Licht verloren geht, bis sie für unsere Wahrnehmung endlich ganz verschwinden.

Wenn die Ebene zweier Spiegel einen Winkel einschließen, so ist die Zahl der Bilder, welche dieselben von einem zwischen ihnen befindlichen Gegenstande erzeugen, nicht mehr unendlich groß, sondern begrenzt, im Allgemeinen um so größer, je kleiner der Winkel ist, unter welchem die Ebenen der Spiegel zusammenstoßen. Beträgt dieser Winkel z. B. für die beiden Spiegel CD und CE, Fig. 214, 45°, und befindet sich zwischen denselben irgend ein Gegenstand in A, so entsteht, wenn wir zur leichtern Construction der Bilder mit dem Abstande AC um C einen Kreis beschreiben, auf diesem zunächst von dem Gegenstande A in dem Spiegel CD ein Bild in a; dieses erzeugt wieder ein Bild in dem Spiegel CE in dem Punkte a'; von diesem Bilde entsteht aufs Neue ein Bild in dem Spiegel CD in a'', welches nochmals in dem Spiegel CE ein Bild in a''' hervorbringt. Dieses letzte Bild bildet sich jedoch nicht

(Fig. 214.)



weiter ab, da es hinter dem Spiegel CD liegt. — Weiter entsteht von dem Gegenstande A in dem Spiegel CE das Bild b, welches in dem Spiegel CD abermals ein Bild in b′ hervorbringt; dieses Bild bewirkt wieder in dem Spiegel CE ein Bild in b″, und von diesem Bilde entsteht endlich noch in dem Spiegel CD ein Bild in a‴, wo es mit dem bereits oben aufgeführten Bilde zusammenfällt. Man erblickt folglich im Ganzen den Gegenstand in dem Winkelspiegel achtmal, also so vielmal, als der Winkel von 45° in 360° enthalten ist.

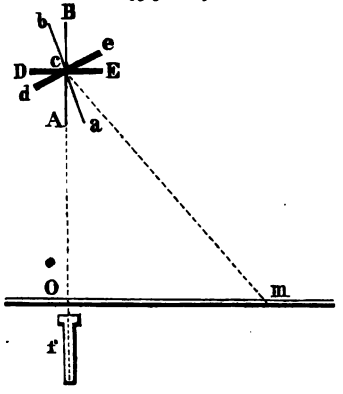
Bilden überhaupt die Ebenen zweier Spiegel einen Winkel α mit einander, der in 360° aufgeht, z. B. n mal enthalten ist, so entstehen von einem zwischen den beiden Spiegeln befindlichen Gegenstande in beiden zusammen n Bilder. Wenn aber der Winkel α in 360° nicht aufgeht, sondern darin mehr, als n, aber weniger, als $(n + 1)$ mal enthalten ist, so ist die Anzahl der in beiden Spiegeln zusammen erscheinenden Bilder nicht unbedingt n; sie kann vielmehr auch gleich $n + 1$ sein, was von der Lage des zwischen beiden Spiegeln befindlichen Gegenstandes abhängt. Die Sache hat jedoch eine zu geringe Wichtigkeit, um dieselbe hier ausführlicher zu erörtern; wir fügen nur noch die Bemerkung bei, daß auf der Vervielfältigung der Bilder durch Winkelspiegel eine unterhaltende Spielerei, das von Brewster erfundene Kaleidoscop, beruht, welches aus zwei in eine Röhre gefaßten und unter einem Winkel gegen einander geneigten Spiegeln besteht, in denen sich kleine an dem einen Ende der Röhre befindliche Gegenstände einem am anderen Ende in die Röhre blickenden Auge vervielfältigt und in sternförmiger Gruppirung zeigen.

Der Planspiegel findet bei verschiedenen Meßinstrumenten Anwendung, deren Beschreibung jedoch in den Bereich der Wissenschaften gehört, in denen diese Instrumente gebraucht werden. Von optischen Instrumenten, bei welchen auch Planspiegel vorkommen, wird weiter unten §. 218 u. folg. die Rede sein. Außerdem heben wir hier noch zwei Anwendungen des Planspiegels hervor, welche in verschiedenen Zweigen der Physik gebraucht werden.

Der Heliostat besteht aus einem Planspiegel, welchem durch ein Uhrwerk (oder in Ermangelung dessen mit der Hand) eine solche Bewegung ertheilt wird, daß die auf denselben fallenden Strahlen der Sonne auch während des (scheinbaren) Fortrückens derselben immer in der nehmlichen Richtung reflectirt werden. Man benutzt den Heliostaten bei den Versuchen über die Farbenzerstreuung, die Beugung des Lichtes, beim Sonnenmikroscop u. dgl. m.

Eine andere sehr nützliche Anwendung findet der Planspiegel, um den Drehungswinkel eines um eine feste Axe beweglichen Körpers, z. B. des Hebels der Torsionswage oder eines für die Bestimmung der Declination und der täglichen oder jährlichen Veränderungen derselben dienenden Magnetstabes (§. 115) mit größter Genauigkeit zu messen. Zu diesem Zwecke befestigt man an dem um eine verticale Axe in horizontaler Ebene drehbaren Stabe einen Planspiegel, DE, Fig. 215, so, daß die Ebene desselben zur Axe des Stabes AB senkrecht ist. Dem Spiegel gegenüber ist in der Entfernung von mhereren Fußen ein kleines Fernrohr aufgestellt, und unter demselben ist in horizontaler Richtung und parallel zur Ebene des Spiegels DE, also senkrecht zur Axe AB des Stabes, wenn derselbe sich in der normalen Lage befindet, eine Scale angebracht. In dem Fernrohr sind zwei sich senkrecht schneidende sehr feine Fäden so angebracht, daß der Kreuzungspunkt der Fäden in die optische Axe des Fernrohrs fällt. Bei der normalen Lage des Stabes AB und des Spiegels DE deckt der Kreuzungspunkt der Fäden den Nullpunkt des Spiegelbildes der Scale. Erleidet aber der Stab eine Drehung, so wird offenbar auch der Spiegel um den nehmlichen Winkel gedreht. Ist z. B. die Axe des Stabes in die Lge ab, die Ebene des Spiegels in die Lage de übergegangen, so wird die Größe der Drehung durch den Winkel $aCA = eCE$ gemessen, welchen wir mit φ bezeichnen wollen. Das Fadenkreuz im Fernrohr deckt nun nicht mehr den Null-

(Fig. 215.)

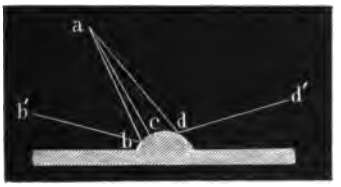


punkt o der Scale, sondern einen andeten Punkt m, nehmlich denjenigen zu Folge des Reflectionsgesetzes, für welchen Winkel mca = acA ist, wonach denn Winkel moA = 2φ ist. Die Größe dieses letzten Winkels ergiebt sich aber aus der Gleichung $\tang 2\varphi = \frac{om}{oc}$.

§. 193. Die unregelmäßige Reflexion.

Wir haben in §. 191 gesehen, daß ein in einer bestimmten Richtung auf eine ebene Fläche auffallender Lichtstrahl unter demselben Winkel, unter welchem er auffällt, zurückgeworfen wird. Daß wir dennoch Körper, welche nur von einer Seite her erleuchtet sind, nicht bloß nach der dem Reflexionsgesetze entsprechenden Richtung, sondern nach allen möglichen Richtungen hin zu sehen vermögen, hat darin seinen Grund, daß die Oberfläche der Körper niemals vollkommen eben, sondern allemal mit vielfachen Erhabenheiten und Vertiefungen versehen ist.

(Fig. 216.)



Es sei bcd, Fig. 216, der in sehr vergrößertem Maaßstabe dargestellte Durchschnitt einer solchen Erhabenheit, von welcher wir am einfachsten annehmen, daß sie eine kugelförmige Gestalt hat. Wenn nun von einem leuchtenden Punkte a auf diese Erhabenheit Licht auffällt, so wird derjenige Strahl ac, welcher die krumme Fläche senkrecht, d. h. in der Richtung des Kugelmittelpunktes trifft, in sich selbst zurückgeworfen; ein die krumme Fläche an der linken Seite von c treffender Strahl ab werde nach bb' und ein rechts von c auffallender Strahl ad werde nach dd' reflectirt. Dann müssen offenbar alle zwischen b und c auffallenden Strahlen in Richtungen, welche zwischen ac und bb' liegen, und alle zwischen c und d auffallenden Strahlen in Richtungen, welche zwischen ac und dd' liegen, zurückgeworfen werden; indem hiernach die Erhabenheit bcd das von a auf dieselbe auffallende Licht nach allen möglichen Richtungen reflectirt, verhält sich dieselbe gerade wie ein selbstleuchtender Punkt, welcher nach allen Richtungen hin Licht aussendet und daher von allen Seiten her gesehen werden kann.

Was wir für eine Erhabenheit dargethan haben, läßt sich in ähnlicher Art auch für eine Vertiefung zeigen. — Man nennt diese Zurückwerfung des Lichtes, welche uns die erleuchteten Körper sichtbar macht, die unregelmäßige Reflexion oder die Diffusion des Lichtes.

§. 194. Morgen- und Abenddämmerung.

Der unregelmäßigen Reflexion, welche die Sonnenstrahlen an den Wolken, an den in der Atmosphäre schwebenden Dunsttheilchen und an den Lufttheilchen selbst erleiden, wenn die Sonne so tief unter dem Horizonte steht, daß ihre Strahlen nicht mehr direct in unser Auge gelangen, wohl aber noch die oberen Schichten der Atmosphäre erleuchten, haben wir die Erscheinungen der Morgen- und Abenddämmerung zu verdanken. Man nimmt gewöhnlich an, daß die Dämmerung dann anfängt oder endet, wenn die Sonne 18^0 unter dem Horizonte steht. Dieselbe dauert dann bekanntlich in unseren Breiten während der längsten Sommertage die ganze Nacht, weil in diesen Tagen auch um Mitternacht die Tiefe der Sonne unter dem Horizonte noch keine

18° beträgt. Die Dämmerung ist am kürzesten im März und Oktober und währt dann nur ohngefähr zwei Stunden. In der Nähe des Aequators ist dieselbe, weil die Sonne hier in fast senkrechter Richtung über den Horizont empor- und unter denselben hinabsteigt, kürzer, als in höheren Breiten, wozu auch die in den tropischen Gegenden größere Reinheit der Atmosphäre beiträgt.

Die so eben besprochene Reflexion, welche die Strahlen der Sonne in der Atmosphäre erleiden, trägt auch am Tage, wenn die Sonne über dem Horizonte steht, zur Vermehrung der Helligkeit wesentlich bei. Ohne dieselbe und die Reflexion, welche die Sonnenstrahlen an den verschiedenen Gegenständen auf der Erdoberfläche erleiden, würden wir selbst mitten am Tage nur die direct von der Sonne beschienenen Gegenstände sehen können; in unseren Wohnungen würde, wenn die Sonnenstrahlen nicht unmittelbar in dieselben einfallen, eine nächtliche Finsterniß herrschen, und jede vor die Sonne tretende Wolke würde uns aus der Tageshelle plötzlich in Dunkelheit versetzen u. dgl. m.

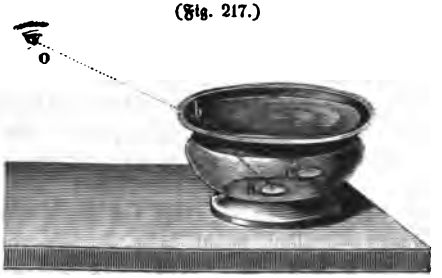
D. Von der Dioptrik oder der Brechung des Lichtes.

§. 195. Das Brechungsgesetz.

Wenn das Licht aus einem Mittel in ein anderes, z. B. aus Luft in Wasser übergeht, so tritt nur ein Theil des auffallenden Lichtes in das neue Mittel ein; ein anderer Theil wird reflectirt und ein dritter Theil absorbirt. Der in das zweite Mittel eintretende Strahl bildet jedoch im Allgemeinen mit dem auffallenden keine gerade Linie, sondern einen Winkel; man sagt daher, das Licht werde bei seinem Uebergange aus einem Mittel in ein anderes gebrochen.

Wenn man auf den Boden eines Gefäßes mit undurchsichtigen Wänden eine Münze a, Fig. 217, legt und dann so weit zurückgeht, bis die Münze dem Auge in o durch den Rand des Gefäßes eben verdeckt wird, also eine von der Münze nach dem Auge gehende gerade Linie den Rand des Gefäßes durchschneiden würde, so wird die Münze wieder sichtbar, wenn in das Gefäß Wasser gegossen wird. Das in o befindliche Auge erblickt die Münze aber nicht in a, sondern in einem höher liegenden Punkte c. Die von der Münze a ausgehenden Strahlen können daher nicht in einer geraden Linie ins Auge gelangt sein, sondern müssen bei ihrem Uebergange aus dem Wasser in die Luft eine Ablenkung von der geraden Linie, z. B. der Strahl ab in die Richtung bo, erfahren haben. — So wie die Münze dem Auge jetzt höher erscheint, als sich dieselbe wirklich befindet, so gilt dies auch von dem ganzen sichtbar gewordenen Theile des Bodens. Eben so erscheinen Bäche und Teiche, wenn man bis auf den Grund derselben sehen kann, weniger tief, unter der Oberfläche des Wassers schwimmende Fische dieser näher, als sie wirklich sind. Ein zum Theil ins Wasser getauchter Stab sieht wie gebrochen aus, indem der ins Wasser getauchte Theil höher zu liegen scheint, als er sich wirklich befindet u. dgl. m.

(Fig. 217.)



Um das Gesetz der Brechung, welche das Licht bei dem Uebergange aus einem Mittel in ein anderes erleidet, bequemer ausdrücken zu können, schicken wir folgende Begriffsbestimmungen voraus: — Eine Linie hck, Fig. 218, welche auf der Trennungs-Fläche mn beider Mittel in dem Punkte c, in welchem der einfallende Strahl ac dieselbe trifft, senkrecht steht, heißt das **Einfallsloth**, der Winkel ach, welchen der einfallende Strahl ac mit dem Einfallslothe ch bildet, der **Einfallswinkel**, und der Winkel hck, welchen der gebrochene Strahl bc mit dem Einfallslothe ck bildet, der **gebrochene** oder **Brechungswinkel**. Denkt man sich ferner mit einem beliebigen Radius um den Punkt c einen Kreis beschrieben und aus den Punkten a und b, in welchen derselbe den einfallenden und den gebrochenen Strahl schneidet, auf das Einfallsloth hk die Senkrechten ad und bf gezogen, so werden diese die **Sinus** des Einfalls- und des Brechungswinkels genannt*). — Hiernach läßt sich das Brechungsgesetz folgendermaßen aussprechen:

(Fig. 218.)

1) Das auf die Oberfläche eines durchsichtigen Körpers senkrecht auffallende Licht wird nicht gebrochen, sondern geht in gerader Linie fort; nur das schief auffallende Licht wird von der geraden Linie abgelenkt und zwar um so mehr, je schiefer es auffällt.

2) **Der einfallende Strahl und der gebrochene Strahl liegen mit dem Einfallslothe in einer Ebene**, also in einer Ebene, welche auf der Oberfläche des das Licht brechenden durchsichtigen Körpers senkrecht ist.

3) Geht das Licht aus einem dünneren Mittel in ein dichteres Mittel von derselben Beschaffenheit, z. B. aus dünnerer Luft in dichtere über, so wird es zum Einfallslothe, im entgegengesetzten Falle aber vom Einfallslothe gebrochen.

4) Haben aber die beiden Mittel nicht die nehmliche materielle Beschaffenheit, so wird zwar das Licht in den meisten Fällen bei dem Uebergange von dem dünneren in den dichteren Körper zum Einfallslothe und bei dem Uebergange von dem dichteren ins dünnere Mittel vom Einfallslothe gebrochen. Dieses ist jedoch nicht immer der Fall; vielmehr brechen ins Besondere die **brennbaren** Körper das Licht stärker, als andere von gleicher oder selbst größerer Dichtigkeit. So brechen z. B. Terpentinöl und Spiritus das Licht stärker, als Wasser, obschon dieses eine größere Dichtigkeit besitzt. So bricht der Diamant das Licht so auffallend stark, daß schon **Newton** hieraus auf seine Brennbarkeit schloß.

5) Für die nehmlichen zwei Mittel findet zwischen dem **Sinus des Einfallswinkels und dem Sinus des Brechungswinkels ein bestimmtes Verhältniß** statt. — Dieses Verhältniß, welches der Bre-

*) Eigentlich versteht man in der Trigonometrie unter sin ach den Bruch $\frac{ad}{ac}$ und unter sin bck den Bruch $\frac{bf}{bc}$; da es sich indeß bei der Brechung des Lichtes nur um das Verhältniß dieser Sinus handelt und Brüche mit gleichem Nenner sich wie ihre Zähler verhalten, so kann man statt der Brüche selbst auch ihre bloßen Zähler setzen. Dasselbe ist überhaupt der Fall, wenn man zum Radius ac die Längeneinheit wählt.

chungsexponent genannt wird, ist z. B. für Luft und Wasser ohngefähr gleich 4 : 3, für Luft und Glas ohngefähr 3 : 2 u. dgl.

Geht also ein Lichtstrahl aus Luft in Wasser über und ist ac der einfallende, bc der gebrochene Strahl, so ist ad : bf = 4 : 3.

Ist die Lage des einfallenden Strahles ac gegeben, so kann man zu Folge des oben ausgesprochenen Gesetzes den gebrochenen Strahl finden, wenn man mit einem beliebigen Radius ac um c einen Kreis beschreibt, auf das Einfallsloth hk die Senkrechte ad zieht, dieselbe in vier gleiche Theile theilt, dann drei dieser Theile auf die Verlängerung dg aufträgt, durch den Endpunkt g mit hk die Parallele bg zieht und endlich c mit b verbindet; dann ist bc der zu dem einfallenden Strahle ac gehörige gebrochene Strahl im Wasser. Umgekehrt ist, wenn in b sich ein leuchtender Punkt befindet und ein von demselben ausgehender Strahl bc die Oberfläche des Wassers in c erreicht, ac der zugehörige gebrochene Strahl in der Luft.

Die folgende Tabelle giebt für den Uebergang des Lichtes aus Luft in Glas für die von 10 zu 10 Grad fortschreitenden Einfallswinkel, die zugehörigen Brechungswinkel und die Größe der Ablenkung, welche der einfallende Strahl durch die Brechung erleidet.

Einfallswinkel.	Brechungswinkel.	Ablenkung.
10°	6½°	3½°
20	13	7
30	19½	10½
40	25½	14½
50	31	19
60	35	25
70	39	31
80	41	39
90	42	48

Man sieht hieraus, daß ein Lichtstrahl um so stärker von der geraden Linie abgelenkt wird, je größer der Winkel ist, welchen er mit dem Einfallsloth bildet.

Bezeichnen wir überhaupt den Einfallswinkel mit a, den Brechungswinkel mit b und den Brechungsexponenten für irgend zwei Substanzen mit n, so ist

$$\sin a : \sin b = n : 1,$$

folglich

$$\sin a = n \sin b$$

und

$$\sin a - \sin b = n \sin b - \sin b = (n-1) \sin b,$$

wofür wir nach einer bekannten trigonometrischen Umformung auch setzen können:

$$2 \sin \frac{a-b}{2} \cos \frac{a+b}{2} = (n-1) \sin b,$$

also

$$\sin \frac{a-b}{2} = \frac{(n-1) \sin b}{2 \cos \frac{a+b}{2}}.$$

Aus dieser ganz allgemeinen Gleichung folgt, daß der Unterschied zwischen dem Einfallswinkel a und dem Brechungswinkel b zunimmt, wenn Winkel a und folglich auch Winkel b wächst, da in diesem Falle $\sin b$ zu-, $\cos \frac{a+b}{2}$ aber abnimmt.

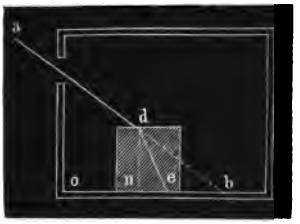
§. 196. Fortsetzung.

Um die Richtigkeit des Brechungsgesetzes für flüssige Körper darzuthun, kann der folgende einfache Apparat dienen: Um den Mittelpunkt c, Fig. 218, eines in Grade eingetheilten festen Kreises sind zwei Regeln oder Lineale drehbar. Wird nun die eine Regel bc auf irgend einen bestimmten Punkt der Eintheilung gestellt und der Kreis in senkrechter Lage so in das Wasser eingetaucht, daß der Mittelpunkt des Kreises und der Nullpunkt der Theilung eben die Oberfläche des Wassers berühren, und dann die Regel ca so weit gedreht, bis sie einem längs derselben hinsehenden Auge mit bc eine

gerade Linie zu bilden scheint, so geben die Bogen bk und ah die Größe des Einfalls- und des Brechungswinkels an. Man findet dann, daß zwischen den Sinus derselben bei jeder beliebigen Stellung der Regel bc das nehmliche Verhältniß stattfindet.

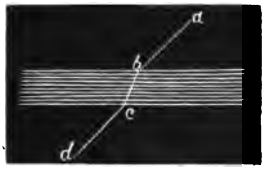
Will man dasselbe für feste durchsichtige Körper, z. B. für Glas, nachweisen, so wendet man am einfachsten folgendes Verfahren an: — In ein verfinstertes Zimmer läßt man durch eine enge Oeffnung einen Sonnenstrahl einfallen und bemerkt den Punkt b, Fig. 219, in welchem derselbe eine wagerechte Fläche bc trifft. Hierauf stellt man auf diese Fläche einen Würfel aus Glas; dann gelangt der durch das Glas hindurchgehende Lichtstrahl nicht mehr nach b, sondern wird nach e gebrochen. Mißt man nun den Einfallswinkel bdn und den Brechungswinkel edn, so findet man, daß sich ihre Sinus wie 3 : 2 verhalten, welches auch immer die Richtung des einfallenden Strahles ad sein mag.

(Fig. 219.)



Wenn ein Lichtstrahl durch einen in einem durchsichtigen Mittel befindlichen durchsichtigen Körper, welcher von parallelen Wänden begrenzt ist, z. B. durch eine in der Luft befindliche Glasscheibe, hindurchgeht, so ist der austretende Lichtstrahl cd, Fig. 220, mit dem auffallenden ab parallel. Denn dieser Lichtstrahl wird in b bei seinem Eintritt in das Glas eben so sehr zum Einfallslothe, als bei seinem Austritt in c vom Einfallslothe gebrochen. Wir sehen daher durch unsere Fensterscheiben, wenn diese von parallelen Flächen begrenzt sind, alle Gegenstände bis auf eine unbedeutende Verrückung, welche von der Dicke des Glases abhängt, an derselben Stelle, an welcher sie sich wirklich befinden. Dieses ist jedoch nicht mehr der Fall, wenn die Flächen des Glases, durch welches das Licht hindurchgeht, mit einander einen Winkel bilden. So erscheinen z. B. durch ein sogenanntes Rautenglas die Gegenstände vervielfältigt, weil die auf die verschiedenen Flächen auffallenden Strahlen an jeder eine andere Brechung erleiden und daher in eben so vielfach verschiedenen Richtungen aus dem Glase austreten und in das Auge gelangen.

(Fig. 220.)



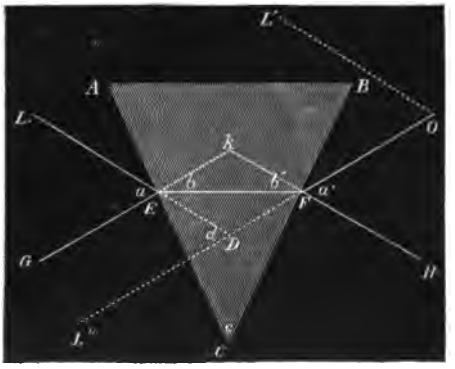
Weiße Gegenstände zeigen sich, durch ein Glas, dessen gegenüberstehende Wände einander nicht parallel sind, z. B. durch ein Rautenglas oder durch ein Prisma gesehen, nicht bloß an einer anderen Stelle, sondern auch bunt gefärbt oder mit farbigen Rändern umgeben, weil mit jeder Brechung zugleich eine Farbenzerstreuung verbunden ist, eine Erscheinung, mit welcher wir uns weiter unten (§. 202) ausführlicher beschäftigen werden.

Das in (§. 195 unter 5) aufgeführte Hauptgesetz der Brechung ist zuerst von dem Holländer Snellius um das Jahr 1620 entdeckt und durch Descartes bekannt gemacht worden, nachdem bereits Keppler und andere Physiker genaue Messungen über die Größe der zu verschiedenen Einfallswinkeln gehörigen Brechungswinkel ausgeführt und Tabellen hierüber angefertigt hatten.

Obschon die oben angegebenen einfachen Methoden zur Erforschung des Brechungsgesetzes im Wesentlichen mit den von den älteren Physikern angewendeten Verfahrungs-

arten, welche zur Entdeckung dieses Gesetzes geführt haben, übereinstimmen, so lassen sie doch nur einen sehr beschränkten Grad von Genauigkeit zu. Um den Brechungsexponenten für einen festen durchsichtigen Körper mit größerer Schärfe zu bestimmen, giebt man diesem die Gestalt eines dreiseitigen Prisma's.

(Fig. 221.)



Es sei ABC, Fig. 221, der senkrechte Durchschnitt eines solchen Prisma's, LE ein in der Ebene dieses Durchschnitts auf dasselbe von einem leuchtenden Punkte L auffallender Lichtstrahl, EF der in das Prisma eintretende gebrochene, FO der austretende Strahl. Dann wird ein in O befindliches Auge den leuchtenden Punkt L durch das Prisma in der Richtung OL'', direct gesehen, aber in der Richtung OL' erblicken, von welcher wir annehmen können, wenn der leuchtende Punkt L hinreichend entfernt ist, daß sie der Richtung des einfallenden Strahles LE parallel ist. Dieß vorausgesetzt, ist der Winkel L'OF = LDL''. Der Kürze wegen wollen wir diesen Winkel, um welchen der einfallende Strahl durch die Brechung im Prisma von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt worden ist, mit d bezeichnen. Dreht man das Prisma langsam um seine Axe, so findet man, daß auch der Ablenkungswinkel d seine Größe ändert, bei einer gewissen Stellung des Prisma's am kleinsten wird und bei fortgesetzter Drehung wieder zunimmt. Das durch das Prisma gesehene Bild des leuchtenden Punktes scheint sich diesem bis auf einen gewissen Abstand zu nähern und entfernt sich dann wieder von demselben. Die gemessene Größe des kleinsten Ablenkungswinkels d und die bekannte Größe des brechenden Winkels des Prisma's ACB, welche wir mit c bezeichnen, reichen aus, um den Brechungsexponenten n der Substanz, aus welcher das Prisma besteht, zu berechnen.

Um dieß darzuthun, ziehen wir durch E und F die Einfallslothe GK und KH und setzen der Kürze wegen Winkel

$$\text{LEG} = a,\ \text{KEF} = b,\ \text{OFH} = a',\ \text{KFE} = b'.$$

Dann ist Winkel $b + b' + \text{EKF} = 180^0$, und wie leicht zu sehen, auch $\text{EKF} + c = 180^0$, folglich

$$1)\quad b + b' = c.$$

Ferner ist Winkel $d = \text{DEF} + \text{DFE} = a - b + a' - b' = a + a' - (b + b')$, also

$$2)\quad d = a + a' - c.$$

Nun läßt sich zeigen, daß die Summen $a + a'$ und folglich der Ablenkungswinkel d dann am kleinsten wird, wenn Winkel $b = b'$, also auch $a = a'$ ist. Denn wenn diese Bedingung nicht erfüllt, z. B. $b' > b$, also auch $a' > a$ ist, so ist zu Folge der Anmerkung zum vorhergehenden §. die Differenz,

$$a' - b' > a - b,$$

folglich auch

$$a' - a > b' - b.$$

Vermöge des Brechungsgesetzes ist

$$\sin a' = n \sin b'$$

und

$$\sin a = n \sin b.$$

Addiren wir diese Gleichungen und wenden zugleich eine bekannte trigonometrische Zusammenziehung an, so erhalten wir

$$2 \sin \frac{a' + a}{2} \cos \frac{a' - a}{2} = 2n \sin \frac{b' + b}{2} \cos \frac{b' - b}{2},$$

also, da $b + b' = c$ ist:

$$\sin \frac{a' + a}{2} = \frac{n \sin {}^1/_2 c \cos \frac{b' - b}{2}}{\cos \frac{a' - a}{2}}.$$

Ist a' von a und b' von b verschieden, so ist, wie schon bemerkt, $a' - a > b' - b$, folglich $\cos\frac{a'-a}{2} < \cos\frac{b'-b}{2}$, also zu Folge der vorstehenden Gleichung $\sin\frac{a'+a}{2} > n \sin \frac{1}{2}c$. Der Sinus von $\frac{a'+a}{2}$ wird dagegen $= n \sin \frac{1}{2}c$, also am kleinsten und folglich auch $a' + a$ am kleinsten, wenn $a' = a$ und $b' = b$ ist. In diesem Falle, welchen man den *symmetrischen* Durchgang nennt, erhält vermöge der Gleichung (2) auch der Ablenkungswinkel d seinen kleinsten Werth.

Für diesen Fall verwandeln sich aber die Gleichungen (1) und (2) in:

$$2b = c \text{ und } d = 2a - c,$$

also

$$b = \tfrac{1}{2}c \text{ und } a = \tfrac{1}{2}(d + c).$$

Setzen wir diese Werthe in die Gleichung

$$\sin a = n \sin b$$

ein, so erhalten wir $\sin \frac{1}{2}(d + c) = n \sin \frac{1}{2}c$,

also

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}(d + c)}{\sin \frac{1}{2}c}.$$

Man hat daher zur Bestimmung des Brechungsexponenten nur nöthig, den *brechenden Winkel* des Prisma's c und den Winkel der *kleinsten Ablenkung*, welche ein durch das Prisma hindurchgehender Lichtstrahl erleidet, zu messen.

Da mit jeder Brechung zugleich eine Farbenzerstreuung verbunden ist, so erhält auch für jede Gattung farbiger Strahlen n einen andern Werth. Man nimmt als mittleren Brechungsexponenten den der *gelben* Strahlen an.

Um den Brechungsexponenten für *Flüssigkeiten* zu finden, füllt man ein hohles Prisma, dessen brechende Flächen durch zwei Platten von Spiegelglas mit parallelen Wänden gebildet werden, mit den zu untersuchenden Flüssigkeiten an. Es erleidet nehmlich ein Lichtstrahl, welcher aus einem Mittel A durch ein Mittel B in ein Mittel C übergeht, wenn B von parallelen Wänden begrenzt ist, genau dieselbe Brechung, als wenn derselbe unmittelbar aus A in C übergegangen wäre.

Eben so wendet man auch für Gase ein ähnliches hohles Prisma an, in welches man das zu untersuchende Gas eintreten läßt. Um aber zunächst den Brechungsexponenten für atmosphärische Luft zu finden, macht man dieses Prisma möglichst luftleer und mißt die durch dasselbe bewirkte Ablenkung, welche ein durch dasselbe hindurchgehender Lichtstrahl erleidet, und die natürlich nach der entgegengesetzten Richtung erfolgt, als wenn dasselbe mit einer Flüssigkeit oder mit einer das Licht stärker, als atmosphärische Luft brechenden Gasart gefüllt ist. — Da der Brechungsexponent für ein Gas mit der Dichtigkeit desselben sich ändert, so muß das mit dem Gase angefüllte Prisma zugleich mit einem Barometer und Thermometer verbunden sein, um aus den Angaben dieser Instrumente die Dichtigkeit des angewendeten Gases herleiten zu können.

Wie wir weiter unten (§. 197) sehen werden, giebt der Brechungsexponent n für zwei Mittel, z. B. für atmosphärische Luft und Wasser, das Verhältniß der Geschwindigkeiten an, welche das Licht in diesen Mitteln hat. Man pflegt ferner (aus Gründen, deren Erörterung uns jedoch zu weit führen würde,) die Differenz $n^2 - 1$ die *brechende Kraft* und den Quotienten $\frac{n^2-1}{d}$, wo d die Dichtigkeit des brechenden Mittels bezeichnet, das *Brechungsvermögen* zu nennen. Bei der nehmlichen Gasart wächst die brechende Kraft in gleichem Verhältnisse mit der Dichtigkeit, und das Brechungsvermögen bleibt folglich für jede Dichtigkeit das nehmliche, ändert sich also weder mit dem Drucke, noch mit der Temperatur. Für ein Gemenge zweier Gase ist die brechende Kraft gleich der Summe der brechenden Kräfte der beiden Bestandtheile. Dieses ist jedoch nicht mehr der Fall, wenn sich die Gase chemisch verbinden.

Weiter führen wir noch folgendes Gesetz an: Wenn für drei Mittel A, B und C n den Brechungsexponenten, wenn das Licht aus A in C, und n' den Brechungsexponenten bezeichnet, wenn das Licht aus B in C übergeht, so ist der Brechungsexponent, wenn das Licht aus A in B übergeht, gleich dem Quotienten $n : n'$.

Die beiden folgenden Tabellen geben für verschiedene Körper die Dichtigkeit, den Brechungsexponenten n, die brechende Kraft $n^2 - 1$ und das Brechungsvermögen $\frac{n^2-1}{d}$ an, wenn das Licht aus dem leeren Raume in dieselben eintritt. Die in der vierten Spalte der ersten Tabelle enthaltenen Zahlen werden wir weiter unten (§. 207) erklären.

A. Feste und flüssige Körper.

Name.	Dichte.	n	n^2-1	$\frac{n^2-1}{d}$	$\frac{N-n}{n'-1}$
Saphir	4,000	1,794	2,218	0,554	0,026
Flintglas	3,723	1,639	1,687	0,453	0,05
Topas	3,550	1,638	1,684	0,474	0,025
Diamant	3,521	2,487	5,185	1,473	0,038
Bergkrystall	2,652	1,562	1,440	0,545	
Kronglas	2,520	1,544 1,534	1,384 1,353	0,549 0,537	0,036
Schwefelsäure	1,841	1,440	1,074	0,583	0,031
Phosphor	1,770	2,424	3,946	2,230	0,128
Schwefelkohlenstoff	1,272	1,643	1,699	1,336	0,048
Wasser	1,000	1,336	0,785	0,785	0,035
Terpentinöl	0,885	1,476	1,178	1,332	0,042
Alkohol	0,825	1,374	0,885	1,076	0,029

B. Gase bei 0° C. und 28° P. Z. Barometerstand.

Name.	d	n	n^2-1	$\frac{n^2-1}{d}$
Atmosphärische Luft	1,000	1,000294	0,000589	0,000589
Chlorgas	2,470	1,000772	0,001545	0,000624
Kohlensäuregas	1,524	1,000449	0,000899	0,000581
Sauerstoffgas	1,103	1,000272	0,000544	0,000493
Schweres Kohlenwasserstoffgas	0,980	1,000678	0,001356	0,001384
Stickstoffgas	0,976	1,000300	0,000601	0,000616
Grubengas	0,559	1,000443	0,000886	0,001602
Wasserstoffgas	0,068	1,000138	0,000277	0,004073

§. 197. Erklärung der Brechung.

Das Brechungsgesetz ergiebt sich nach der Vibrationshypothese aus den Gesetzen der Wellenbewegung, wenn man annimmt, daß der in den Poren verschiedener Körper enthaltene Aether eine ungleiche spezifische Elasticität (in ähnlicher Art wie kalte und warme Luft) und zwar in den das Licht stärker brechenden Substanzen eine geringere, als in den schwächer brechenden besitzt, und daß die das Licht fortpflanzenden Aetherwellen sich in jenen langsamer, als in diesen ausbreiten. Der Brechungsexponent zweier Mittel giebt nach dieser Hypothese das Verhältniß der Wellenlängen und folglich auch der Geschwindigkeiten an, mit denen sich das Licht in denselben fortpflanzt. So ist z. B. für den leeren Raum und Wasser der Brechungsexponent gleich 4 : 3; da nun das Licht im leeren Raume in jeder Secunde 42000 Meilen durchläuft, so würde es im Wasser nur 31500 Meilen in der Secunde zurücklegen. Eben so muß das Licht in der Luft sich etwas langsamer, als im leeren Raume, fortpflanzen, da es beim Uebergange aus diesem in die Luft zum Einfallslothe gebrochen wird.

In neuerer Zeit hat Foucault durch directe Versuche mit dem rotirenden Spiegel von Wheatstone (vergl. oben §. 124 Anm.) gezeigt, daß wirklich die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser geringer, als in der Luft ist.

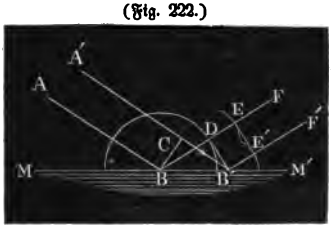
Aus den Principien der Wellenlehre lassen sich sowohl die Gesetze der Brechung, als auch die der Reflexion in sehr einfacher und übereinstimmender Weise ableiten, weshalb wir auch beide Erklärungen hier zusammenfassen.

Wenn eine Lichtwelle, welche sich durch den in den Poren eines durchsichtigen Mittels enthaltenen Aether fortpflanzt, auf ein anderes Mittel trifft, in welchem der Aether

eine verſchiedene, größere oder geringere, Dichtigkeit beſitzt, ſo entſtehen bei der Ankunft dieſer Welle an dem zweiten Mittel und durch die Erſchütterung der in beiden Mitteln der Grenzfläche zunächſt liegenden Aethertheilchen zwei Wellenſyſteme, von denen das eine ſich in dem Aether ausbreitet, welcher in den Poren des erſten Mittels enthalten iſt und die Erſcheinungen der Reflexion erzeugt, während das andere Wellenſyſtem ſich in dem Aether des zweiten Mittels ausbreitet und die Erſcheinung der Refraction hervorbringt.

Wir betrachten zunächſt die Reflexion. Es ſeien alſo AB und A′B′, Fig. 222, zwei von demſelben leuchtenden Punkte herkommende Strahlen, d. h. zwei zu der nehmlichen ſphäriſchen Welle gehörige Radien, welche wir uns ſo nahe denken wollen, daß wir ihre Richtungen als parallel und den Durchſchnitt, in welchem eine durch dieſelben gelegte Ebene die ſphäriſche Lichtwelle durchſchneidet, zwiſchen dieſen beiden Radien, als eine gerade Linie BC anſehen können. Dieſe nehmliche Ebene durchſchneide die Grenzfläche, durch welche die beiden Mittel, z. B. Luft und Waſſer, getrennt werden, in der Linie MM′. Indem nun die Lichtwelle BC zuerſt im Punkte B an dieſer Grenzfläche anlangt, erſchüttert ſie

(Fig. 222.)



dasjenige Aethertheilchen, welches ſich hier in dem erſten Mittel, d. h. in demjenigen, in welchem die Aetherwelle BC fortſchreitet, befindet; und indem dieſes Aethertheilchen ſeine Erſchütterung den benachbarten Aethertheilchen mittheilt, entſteht eine um den Punkt B als Mittelpunkt ſich ausbreitende und in dem Aether, welcher in den Poren des erſten Mittels enthalten iſt, fortſchreitende Welle. Auf gleiche Weiſe erzeugen auch die übrigen Theile der Lichtwelle BC bei ihrer Ankunft an der Grenzfläche MM′ Wellen, welche ſich in dem Aether des erſten Mittels ausbreiten, und deren Mittelpunkte ſämmtlich auf der Linie BB′ liegen, die wir bei dem geringen Abſtande der beiden Lichtſtrahlen AB und A′B′ von einander, als eine gerade Linie anſehen können. Da dieſe Wellen, welche den Namen Elementarwellen führen, ſich in dem nehmlichen Mittel, wie die ankommende Hauptwelle BC ausbreiten, ſo müſſen ſie auch mit dieſer eine gleiche Geſchwindigkeit haben; in dem Augenblicke, in welchem der Punkt C dieſer Welle in B′ anlangt, muß daher die vom Punkte B ausgehende Welle ſich bereits in eine Kugelfläche ausgebreitet haben, deren Radius BD = B′C iſt. Da ferner die von den Mittelpunkten B und B′ ausgehenden elementaren Wellen mit gleicher Geſchwindigkeit fortſchreiten, ſo muß beſtändig der Radius der erſteren den der letzteren um die nehmliche Größe BD übertreffen. Wenn wir daher an den um B mit B′C beſchriebenen Kreis aus B′ die Tangente B′D und an dieſe den Radius BD ziehen, ferner um B mit einem beliebigen Radius BE und um B′ mit einem DE gleichen Radius B′E′ Kreiſe beſchreiben, ſo ſtellen dieſe Kreiſe Durchſchnitte der um die Mittelpunkte B und B′ ſich ausbreitenden elementaren Wellen in der Art dar, daß die von dem Punkte B ausgehende Welle in dem nehmlichen Augenblicke in E ankommt, in welchem die von B′ ausgehende Welle in E′ anlangt. Die um die Mittelpunkte B und B′ ſich ausbreitenden elementaren Wellen haben die mit B′D parallele EE′ zur gemeinſchaftlichen Tangente. Wie leicht zu ſehen, müſſen aber auch alle anderen elementaren Wellen, welche von zwiſchen B und B′ liegenden Mittelpunkten ausgehen, in dem nehmlichen Momente an der Linie EE′ anlangen und dieſelbe zur gemeinſchaftlichen Berührungslinie haben. Die zwiſchen den parallelen Radien BE und B′E′ liegenden Bogen dieſer elementaren Wellen ſchließen ſich um ſo enger an die gemeinſchaftliche Berührungslinie EE′ an, je weiter wir uns den Punkt E auf der Linie BF fortgerückt denken, und gehen endlich in dieſe ſelbſt über. Sämmtliche zwiſchen BF und B′F′ fallende und in gleicher Richtung fortſchreitende elementare Wellen vereinigen ſich daher in dieſer Richtung zu einer einzigen kräftigen Welle, deren Wirkung offenbar der Summe aller dieſelbe zuſammenſetzenden elementaren Wellentheile gleich ſein und folglich die Wirkung eines einzelnen elementaren Wellentheiles unendlich übertreffen muß. Ein ſolches Zuſammenwirken der elementaren Wellen findet jedoch nur in der Richtung BF ſtatt, da nur in dieſer Richtung die von den verſchiedenen Punkten der Linie BB′ ausgehenden elementaren Wellen ſich an eine gemeinſchaftliche Tangente anſchließen, alſo die nehmliche Richtung der Bewegung haben, während dieſelben in jeder anderen Richtung ſich mannigfach durchkreuzen und gegenſeitig ſtören.

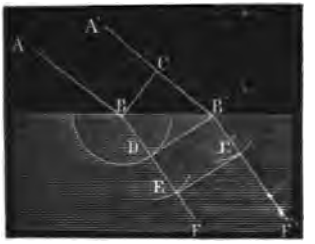
Eine einzelne elementare Welle vermag auf das Auge keine wahrnehmbare Wirkung hervorzubringen; erſt durch das Zuſammenwirken der in gleicher Richtung fortſchreitenden

Theile sämmtlicher von den verschiedenen Punkten der Fläche BB' entspringenden elementaren Wellen geht in dieser Richtung ein wirksamer Lichtstrahl hervor.

In den rechtwinkligen Dreiecken BB'C und BB'D ist die Cathete BD = B'C gemacht, also auch Cathete BC = B'D und Winkel A'B'M = FBM', folglich der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel, wie es das Reflexionsgesetz vorschreibt.

Wir wenden uns nun zur Ableitung des Refractionsgesetzes. Indem die verschiedenen Theile des in der Richtung AB fortschreitenden Wellenstückes BC an die Grenzfläche MM' gelangen, welche dasjenige Mittel, in welchem sich die Lichtwelle ausbreitet, von einem zweiten Mittel scheidet, erschüttern sie aber auch die an BB' anliegenden Theilchen des in den Poren dieses zweiten Mittels enthaltenen Aethers, und indem diese Erschütterungen sich den benachbarten Theilchen dieses Aethers mittheilen, entsteht ein anderes, in dem zweiten Mittel sich ausbreitendes Wellensystem. Hat dieses Mittel eine von dem ersten verschiedene materielle Beschaffenheit, so wird nach den Principien der Undulationstheorie die specifische Elasticität des Aethers in beiden Mitteln nicht nothwendig dieselbe sein. Es werden dann folglich auch die in diesem Mittel sich ausbreitenden Lichtwellen eine andere Geschwindigkeit, als in dem ersten Mittel haben. Nehmen wir an, daß diese Geschwindigkeit für das zweite Mittel kleiner sei, als für das erste, und beschreiben dann mit einem Radius BD, Fig. 223, welcher gleich ist dem Wege, welchen eine Lichtwelle in dem zweiten Mittel in der nehmlichen Zeit durchläuft, in welcher eine Lichtwelle in dem ersten die Länge B'C durchläuft, um den Punkt B einen Kreis, so wird die elementare Welle, welche um den durch die Lichtwelle BC zuerst getroffenen Punkt B sich ausbreitet, bereits bis D gelangt sein, wenn der letzte Punkt C der Lichtwelle BC in B' anlangt und eine um diesen Punkt sich ausbreitende elementare Welle erregt. Wenn wir nun an diesen Kreis aus B' eine Tangente B'D ziehen, ferner um B mit einem beliebigen Radius BE und um B' mit einem DE gleichen Radius B'E' Kreise beschreiben und die beiden gemeinschaftliche Tangente EE' ziehen, so finden wir durch eine der vorhergehenden ganz analoge Ueberlegung, daß sämmtliche elementaren Wellen, welche nach einander in dem unter MM' liegenden Mittel dadurch entstehen, daß die zunächst an BB' anliegenden Aethertheilchen von den Theilchen der in der Richtung AB fortschreitenden Lichtwelle BC getroffen und erschüttert werden, zu gleicher Zeit an der allen gemeinschaftlichen Berührungslinie EE' anlangen und durch ihre Vereinigung in der Richtung BF einen wirksamen Lichtstrahl bilden, während sie in allen anderen Richtungen sich durchkreuzen und gegenseitig stören.

(Fig. 223.)



Bezeichnen wir den Einfallswinkel mit e und den Brechungswinkel mit b, so ist, wie leicht zu sehen, e = CBB' und b = DB'B, folglich

$$\sin e : \sin b = \frac{B'C}{BB'} : \frac{BD}{BB'} = B'C : BD.$$

Zu Folge der Entwickelung sind aber B'C und BD die relativen Geschwindigkeiten der Lichtwellen in den beiden durch die Grenzfläche getrennten Mitteln; wir können daher die zuletzt erhaltene Proportion so aussprechen:

Der Sinus des Einfallswinkels verhält sich zum Sinus des Brechungswinkels wie die Geschwindigkeit der Lichtwellen in dem Mittel, aus welchem das Licht kommt, zu der Geschwindigkeit der Lichtwellen in dem Mittel, in welches das Licht übergeht.

Da wir nun das Verhältniß zwischen dem Sinus des Einfallswinkels und dem Sinus des Brechungswinkels den Brechungsexponenten genannt haben, so ist folglich der Brechungsexponent für zwei Mittel gleich dem Verhältnisse der Geschwindigkeiten des Lichtes in diesen beiden Mitteln.

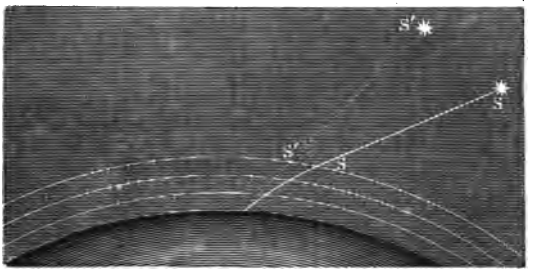
Die vorstehende Ableitung des Gesetzes der Zurückwerfung und der Brechung des Lichtes ist zuerst von dem Holländer Huyghens, einem Zeitgenossen Newton's, 1690 gegeben, aber erst in neuerer Zeit von den Physikern allgemein angenommen worden.

§. 198. Die atmosphärische Strahlenbrechung.

Indem das Licht der Sonne oder anderer Himmelskörper in die Atmosphäre eintritt, wird es zum Einfallslothe gebrochen, und da die Dichtigkeit

der Atmosphäre mit der Tiefe zunimmt, so erleidet das Licht, so wie es in die tieferen Schichten gelangt, immer neue Brechungen zum Einfallslothe. Der Weg, welchen das Licht der Himmelskörper in der Atmosphäre durchläuft, ist daher keine gerade, sondern eine krumme Linie, und ein Beobachter an der Erdoberfläche erblickt einen Stern nicht in der Richtung SS, Fig. 224, in welcher sich derselbe wirklich befindet, sondern in der Richtung der Tangente S'S' der krummlinigen Bahn, in welcher das Licht in das Auge des Beobachters gelangt. Da die Brechungen, welche die von den Gestirnen ausgehenden Lichtstrahlen in der Atmosphäre erleiden,

(Fig. 224.)



sämmtlich zum Einfallslothe stattfinden, so sehen wir alle Gestirne in größerer Höhe über dem Horizonte, als sich dieselben wirklich befinden. Je schiefer die Lichtstrahlen auf die Atmosphäre auffallen, um so stärker werden sie auch gebrochen. Die Strahlenbrechung ist daher in der Nähe des Horizonts am größten und beträgt hier etwas über einen halben Grad. Da nun der Durchmesser der Sonne ebenfalls nicht viel über einen halben Grad ausmacht, so erblicken wir die Sonne gerade über dem Horizonte, der unterste Sonnenrand scheint für unser Auge den Horizont zu berühren, wenn eine durch das Auge gezogene horizontale Linie eben den obersten Sonnenrand treffen würde, also die Sonne sich ganz unter dem Horizonte befindet. Die Strahlenbrechung in der Atmosphäre nimmt mit der Höhe rasch ab, sie beträgt für 45^0 Höhe kaum noch 1′ und ist im Zenith Null, weil die in dieser Richtung einfallenden Strahlen durch die verschiedenen Schichten der Atmosphäre senkrecht hindurchgehen und also keine Brechung erleiden. Sie hat jedoch nicht beständig dieselbe Größe, sondern ändert sich mit der Dichtigkeit und dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft.

Indem die Strahlenbrechung den scheinbaren Sonnenaufgang beschleunigt, den Untergang verzögert, verlängert sie die Dauer des Tages. Diese Verlängerung beträgt in unseren Breiten ohngefähr sieben bis acht Minuten. Sie ist viel beträchtlicher in den Polargegenden und verlängert hier den längsten Tag und eben so verkürzt sie die längste Nacht um mehrere Tage.

Das bisher Gesagte betraf zunächst die sogenannte astronomische Strahlenbrechung, d. h. die Brechung, welche das von den Gestirnen ausgehende Licht in der Atmosphäre erleidet. Aber auch das von einem entfernten Gegenstande auf der Erde in unser Auge gelangende Licht durchläuft keine gerade Linie. Denn eine unser Auge mit einem entfernten Gegenstande verbindende, gerade Linie geht durch Schichten der Atmosphäre von ungleicher Dichtigkeit, da die Oberfläche der Erde keine Ebene bildet, sondern eine kugelförmige Gestalt hat. Wir erblicken daher auch entfernte irdische Gegenstände höher, als sich dieselben wirklich befinden. Die irdische oder terrestrische Strahlenbrechung ist für entferntere Gegenstände beträcht-

licher, als für nähere, die astronomische Strahlenbrechung dagegen für alle Gestirne dieselbe.

Wenn die Strahlenbrechung sehr groß ist, so werden zuweilen durch dieselbe unter dem Horizonte liegende entfernte Gegenstände sichtbar, welche man für gewöhnlich nicht sehen kann. So hat man verschiedene Male an den Küsten von England bei Hastings die ohngefähr zehn Meilen entfernte französische Küste gesehen, obschon eine gerade, beide Küsten verbindende Linie die See durchschneiden würde. Auf gleichem Grunde beruhen auch, wenigstens dem größeren Theile nach, die überraschenden, (überdieß noch durch die lebhafte Phantasie der Beobachter häufig sehr ausgeschmückten und vergrößerten) Erscheinungen der sogenannten Fata Morgana (Schlösser der Fee Morgana). Man erblickt nehmlich an den Küsten Calabriens, besonders zu Reggio, der Küste Siciliens gegenüber, zuweilen prachtvolle Schlösser, eine Menge von Säulen, ganze Landschaften mit Cypressenhainen, Menschen, weidende Heerden u. s. w., Erscheinungen, welche jedoch nach kurzer Zeit wieder verschwinden und wahrscheinlich dadurch entstehen, daß eine ungewöhnlich starke Strahlenbrechung die Stadt Messina und ihre Umgebungen für kurze Zeit sichtbar macht.

Auf der Strahlenbrechung und den in der Atmosphäre beständig stattfindenden Strömungen kälterer und wärmerer Luft dürfte auch das scheinbare Zittern oder Funkeln der Sterne beruhen. Dasselbe ist beträchtlicher bei den Fixsternen, deren scheinbarer Durchmesser noch lange keine Secunde erreicht, als bei den Planeten, deren scheinbarer Durchmesser mehrere Secunden beträgt, am Rande der Sonne und des Mondes aber überhaupt nur durch stark vergrößernde Fernröhre wahrzunehmen. — Doch fehlt zur Zeit noch eine ganz sichere Erklärung dieser Erscheinung, des Farbenwechsels, welchen die Fixsterne hierbei zeigen.

Man kennt einige Fälle, wo in der Nähe des Horizontes befindliche Sterne sich in einer schwankenden Bewegung zeigten. Diese seltene Erscheinung, welche zuerst 1799 von Alex. von Humboldt auf Teneriffa beobachtet worden ist, dürfte ohne Zweifel ihren Grund in abwechselnden Strömungen kälterer und wärmerer Luftschichten und der ungleichen Brechung des Lichtes in denselben haben.

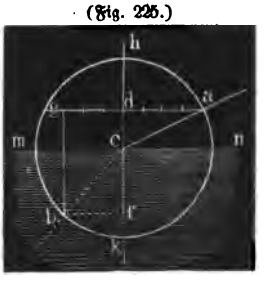
Wegen der Strahlenbrechung bedarf jede astronomische Messung des Höhenwinkels eines Sternes und eben so jede terrestrische Messung des Höhenwinkels eines entfernten Gegenstandes, z. B. eines Berges, einer Correction. Wie wir schon oben gesehen haben, hängt die Größe der irdischen Strahlenbrechung, welche wir mit ϱ bezeichnen wollen, von der Entfernung des Gegenstandes vom Beobachter ab. Nennen wir diese a und den Winkel, welchen die vom Beobachter und von dem Objecte nach dem Mittelpunkte der Erde gezogenen Linien einschließen, α, so ist ohngefähr $\varrho = 0{,}08 \,.\, \alpha$,

also für a = 15 Meilen, $\alpha = 1^0$, $\varrho = 4{,}8'$
" a = 1 " $\alpha = 4'$ $\varrho = 19{,}2''$,
" a = 6000 Fuß, $\alpha = 1'$ $\varrho = 4{,}8''$,
" a = 1000 " $\alpha = 10''$, $\varrho = 0{,}8''$.

*§. 199. Die totale Reflexion.

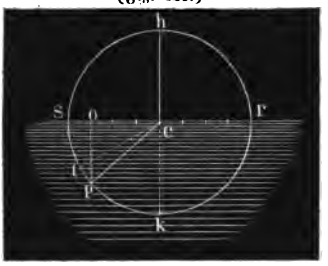
Wir haben oben (§. 195) gesehen, wie man bei dem Uebergange eines Lichtstrahls aus einem Mittel in ein anderes, z. B. aus Luft in Wasser, wenn der Brechungsexponent bekannt ist, zu jedem einfallenden Strahle ac, Fig. 225, durch eine leichte Construction den zugehörigen gebrochenen Strahl cb finde. Diese Construction zeigt zugleich deutlich, daß, wenn man den Einfallswinkel acd vergrößert, auch der Brechungswinkel bcf zunimmt. Während aber der Einfallswinkel acd von Null bis 90^0 wachsen kann, kann der Brechungswinkel bcf bei dem Uebergange des Lichtes aus einem dünneren in ein dichteres Mittel eine gewisse Grenze nicht überschreiten. Man findet diesen Grenzwinkel, wenn man mit einem beliebigen Radius einen Kreis be-

(Fig. 225.)



ſchreibt, einen Radius cr, Fig. 226, in vier gleiche Theile theilt und drei dieſer Theile auf dem Radius cs aufträgt, hierauf durch den Endpunkt o eine Parallele mit dem Einfallslothe hk zieht und den Punkt p, in welchem dieſelbe den Kreis durchſchneidet, mit c verbindet; dann giebt der Winkel pck die äußerſte Grenze an, welche kein Brechungswinkel bei dem Uebergange des Lichtes aus Luft in Waſſer überſteigen kann. Alle Lichtſtrahlen, welche zwiſchen hc und rc die Oberfläche des Waſſers in c treffen, werden ſo gebrochen, daß die gebrochenen Strahlen zwiſchen pc und kc fallen; keiner derſelben kann zwiſchen pc und sc zu liegen kommen.

(Fig. 226.)



Denken wir uns einen leuchtenden Punkt im Waſſer zwiſchen p und k, ſo wird ein von demſelben ausgehender und die Oberfläche des Waſſers in c erreichender Lichtſtrahl bei ſeinem Eintritte in die Luft zwiſchen hc und cr gebrochen, und der gebrochene Strahl wird ſich um ſo mehr der wagerechten Lage cr nähern, je näher der leuchtende Punkt im Waſſer an p und der einfallende Strahl an pc heranrückt. Wird dieſe Lage überſchritten, befindet ſich ein leuchtender Punkt zwiſchen p und s, z. B. in t, ſo kann ein von demſelben ausgehender und die Oberfläche des Waſſers in c erreichender Lichtſtrahl tc nicht mehr in die Luft austreten. Denn da der Einfallswinkel tck im Waſſer größer, als der Grenzwinkel pck geworden iſt, ſo müßte auch der gebrochene Winkel in der Luft größer, als der rechte Winkel hcr ſein, was offenbar nicht möglich iſt, wenn der gebrochene Strahl in die Luft austreten ſoll.

Während diejenigen Strahlen im Waſſer, für welche der Einfallswinkel kleiner, als der Grenzwinkel pck iſt, bei ihrer Ankunft an der Oberfläche des Waſſers zum Theil reflectirt und zum Theil gebrochen werden und in die Luft austreten, wird ein Lichtſtrahl tc im Waſſer, welcher mit der Oberfläche desſelben einen kleineren Winkel, als pcs, oder, was dasſelbe ſagen will, mit dem Einfallslothe einen größeren Winkel, als pck bildet, *nur zurückgeworfen*. Man nennt dieſen Fall die *totale Reflexion*, weil in demſelben, ſo weit die Beobachtungen dieß beurtheilen laſſen, alles auffallende Licht vollſtändig reflectirt wird.

Wenn alſo hc einen undurchſichtigen Schirm vorſtellt und im Waſſer zwiſchen p und s, z. B. in t, ſich ein leuchtender Punkt befindet, ſo wird derſelbe von einem in der Luft an der andern Seite des Schirmes zwiſchen h und r befindlichen Auge gar nicht geſehen werden können, weil die von t ausgehenden und die Oberfläche des Waſſers zwiſchen c und r treffenden Lichtſtrahlen ſämmtlich mit dem Einfallslothe Winkel, welche größer, als der Winkel der totalen Reflexion pck ſind, bilden und daher gar nicht mehr in die Luft austreten, ſondern ganz zurückgeworfen werden.

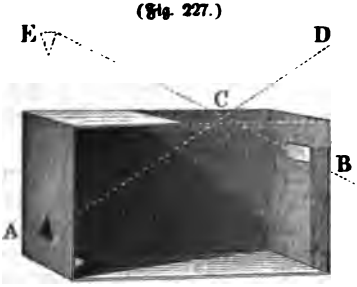
So wie wir oben durch eine einfache Conſtruction den Grenzwinkel der totalen Reflexion für Waſſer (und Luft) beſtimmt haben, ſo läßt ſich derſelbe durch ein ähnliches Verfahren auch für jede andere Subſtanz finden, wenn man den Brechungsexponenten kennt. Er fällt, wie leicht zu ſehen, um ſo kleiner aus, je größer der Brechungsexponent iſt.

In Folge der totalen Reflexion erscheinen kleine Luftblasen im Wasser wie glänzende Perlen. Auch Sprünge, überhaupt leere Räume in durchsichtigen Körpern werden vorzüglich durch die totale Reflexion sichtbar.

Wenn ein Lichtstrahl pe, Fig. 226, in einem dichteren Mittel an der Grenzfläche, welche das dichtere Mittel von einem dünneren scheidet, mit dem Einfallslothe ek einen Winkel pek bildet, welcher gerade dem oben näher bezeichneten Grenzwinkel gleich ist, so geht der gebrochene Theil dieses Strahles längs der Trennungsfläche beider Mittel hin. Wird der Einfallswinkel pek vergrößert, so nimmt die Intensität dieses Theiles rasch ab, dagegen die des nach Innen reflectirten Theils rasch zu, so daß für die Wahrnehmung nur noch dieses letztere übrig bleibt.

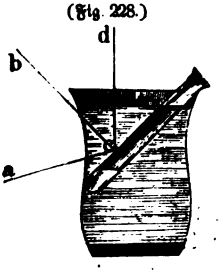
Um die Erscheinung der totalen Reflexion zu zeigen, kann der folgende einfache Apparat dienen. Ein längliches, viereckiges, im Innern schwarz angestrichenes Kästchen, welches Fig. 227, mit Hinweglassung der vorderen Seitenwand, darstellt, ist oben zur einen Hälfte geschlossen, zur andern Hälfte offen. In den schmäleren Seitenwänden sind zwei kleine Fensterchen A und B angebracht. Das Fensterchen A, welchem man zweckmäßig eine dreieckige Gestalt geben kann, befindet sich nahe am Boden, das andere runde oder viereckige Fensterchen B in größerer Höhe über demselben. So lange das Kästchen mit Luft gefüllt ist, erblickt ein in der Richtung ACD befindliches Auge durch die offene Hälfte des oberen Bodens das Fensterchen A. Wird aber das Kästchen mit Wasser gefüllt, so wird das Fensterchen A dem in dieser Richtung befindlichen Auge unsichtbar. Dagegen erblickt ein vor dem Fensterchen B befindliches Auge jetzt in der Richtung ECB ein verkehrtes Spiegelbild des Fensterchens A. Damit jedoch das Verschwinden und Sichtbarwerden des Fensterchens A in angegebener Weise stattfindet, muß der Winkel, welchen eine von dem Fensterchen A nach dem inneren Rande des oberen Bodens gezogene Linie mit einer lothrechten Linie bildet, mehr als $48\frac{1}{2}^0$ betragen.

(Fig. 227.)



Auch der folgende Versuch ist sehr geeignet, die Erscheinung der totalen Reflexion zu zeigen. Ein cylinderförmiges Gläschen, Fig. 228, etwa ein Reagentiengläschen, welches unten mit etwas Wasser, übrigens mit Luft gefüllt ist, wird in schiefer Richtung in ein Glas mit Wasser getaucht; dann erscheint einem von oben her auf das Wasser und das eingetauchte Gläschen sehenden Auge der untere, mit Wasser gefüllte Theil dieses Gläschens durchsichtig, der obere mit Luft gefüllte Theil dagegen, so weit er in das Wasser gesenkt ist, undurchsichtig und stark spiegelnd. Denn ein schief einfallender Lichtstrahl ac wird, wenn der Winkel acb, welchen er mit dem Einfallslothe bc bildet, die oben angegebene Grenze überschreitet, nicht mehr in die Luft durchgelassen, sondern in der Richtung cd reflectirt.

(Fig. 228.)

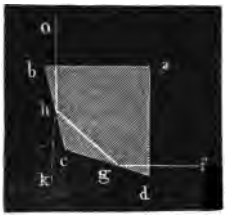


Der Grenzwinkel der totalen Reflexion pek, Fig. 226, beträgt für Wasser und Luft $48\frac{1}{2}^0$, für Glas und Luft 41^0, für Diamanten und Luft nur 24^0. Ueberhaupt ist $\sin pek = 1 : n$,

Wenn daher ein Lichtstrahl im Glase von dem Einfallslothe um mehr, als 41^0 abweicht, also mit der Oberfläche des Glases einen kleinern Winkel, als 49^0 bildet, so tritt derselbe nicht mehr in die Luft aus, sondern wird nur zurückgeworfen. Auf diesem Prinzipe beruht eine sinnreiche, von Wollaston erfundene Vorrichtung, welche den Namen camera lucida führt, weil sie, so wie die camera obscura, zum Abzeichnen von Gegenständen benutzt werden kann, obschon sie diesem Zwecke weniger vollkommen entspricht. Dieselbe besteht aus einem kleinen Glasprisma abcd, Fig. 229, welches bei a einen rechten Winkel, bei c einen Winkel von 135^0 und bei b und d Winkel von $67\frac{1}{2}^0$ hat. Wird dieses Prisma, welches von einem kleinen Stativ getragen wird, so gestellt, daß die obere Seite ab wagerecht, also ad lothrecht gerichtet ist, so trifft ein von einem

leuchtenden Punkte f in wagerechter Richtung ausgehender Lichtstrahl die Seitenfläche ad in senkrechter Richtung und tritt also, ohne eine Brechung zu erleiden, in das Prisma ein. Da er mit der Fläche cd nur einen Winkel von $22\frac{1}{2}^0$ bildet, so kann er nicht wieder in die Luft austreten, sondern wird in der Richtung gh, welche mit bc den nehmlichen Winkel von $22\frac{1}{2}^0$ bildet, zurückgeworfen, und erleidet hier zum zweiten Male eine totale Reflexion in der Richtung oh. Ein in o befindliches Auge erblickt daher in der Richtung ok ein Bild des leuchtenden Punktes f, und da das Prisma klein ist, und der Strahl ok nahe neben der Ecke b vorbeigeht, so kann dieses Auge auch noch ein in der deutlichen Sehweite wagerecht ausgebreitetes Papier und die auf k gehaltene Spitze eines Bleistiftes sehen, wodurch es möglich wird, die Umrisse des abzubildenden Gegenstandes auf das Papier zu zeichnen.

(Fig. 229.)

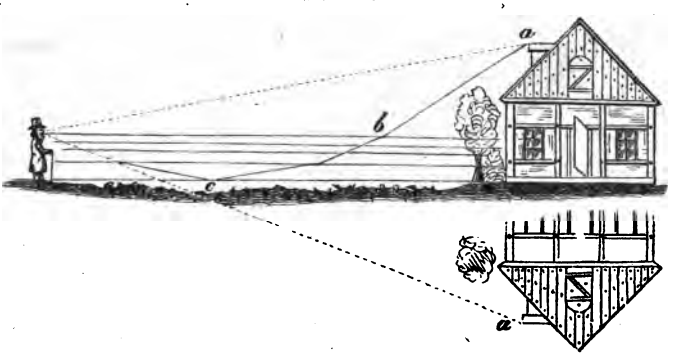


*§. 200. Die Luftspiegelung.

Auf der totalen Reflexion beruht eine der interessantesten Naturerscheinungen, die Luftspiegelung. Man sieht nehmlich zuweilen in weiten Ebenen, an Meeresküsten oder auf der See an ganz windstillen Tagen und bei großer Wärme der untersten Luftschichten entfernte Gegenstände, Häuser, Bäume, Schiffe, auch wohl ganze Dörfer und Landschaften oder entfernte Küsten über den Horizont erhoben, gleichsam in der Luft schwebend, und unter denselben, ähnlich wie in stillstehendem Wasser, ihr verkehrtes Bild. Dasselbe verschwindet, wenn der Beobachter sich dem Gegenstande sehr nähert oder beträchtlich in die Höhe steigt.

Diese Erscheinungen lassen sich durch das im vorhergehenden Paragraphen entwickelte Gesetz der totalen Reflexion in folgender Art erklären: — Wenn an einem heitern und windstillen Tage die Oberfläche der Erde durch die Sonnenstrahlen stark erhitzt worden ist, so kann es geschehen, daß sich unmittelbar über dem Boden eine wärmere und also dünnere Luftschicht, über dieser eine zweite, dritte, weniger erwärmte und daher dichtere Luftschicht u. s. w. lagert, bis in einer gewissen Entfernung vom Erdboden, wie es die gewöhnliche Regel ist, die Dichtigkeit der Luft mit der Höhe wieder abnimmt. Ein von einem höher gelegenen Gegenstande ausgehender Lichtstrahl ab, Fig. 230,

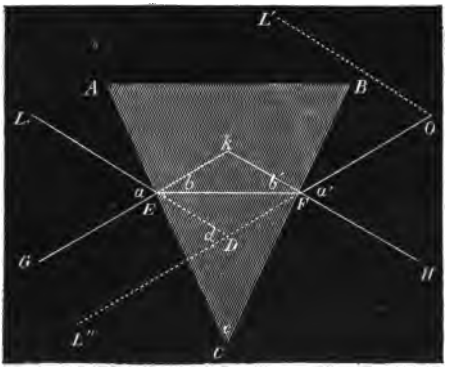
(Fig. 230.)



wird da, wo er in die erste wärmere und dünnere Luftschicht tritt, vom Einfallslothe und eben so bei dem Uebergange in die darunter liegenden noch wärmeren und dünneren Luftschichten gebrochen, bis er endlich in c so schief

arten, welche zur Entdeckung dieses Gesetzes geführt haben, übereinstimmen, so lassen sie doch nur einen sehr beschränkten Grad von Genauigkeit zu. Um den Brechungsexponenten für einen festen durchsichtigen Körper mit größerer Schärfe zu bestimmen, giebt man diesem die Gestalt eines dreiseitigen Prisma's.

(Fig. 221.)



Es sei ABC, Fig. 221, der senkrechte Durchschnitt eines solchen Prisma's, LE ein in der Ebene dieses Durchschnitts auf dasselbe von einem leuchtenden Punkte L auffallender Lichtstrahl, EF der in das Prisma eintretende gebrochene, FO der austretende Strahl. Dann wird ein in O befindliches Auge den leuchtenden Punkt L durch das Prisma in der Richtung OL'', direct gesehen, aber in der Richtung OL' erblicken, von welcher wir annehmen können, wenn der leuchtende Punkt L hinreichend entfernt ist, daß sie der Richtung des einfallenden Strahles LE parallel ist. Dieß vorausgesetzt, ist der Winkel L'OF = LDL''. Der Kürze wegen wollen wir diesen Winkel, um welchen der einfallende Strahl durch die Brechung im Prisma von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt worden ist, mit d bezeichnen. Dreht man das Prisma langsam um seine Axe, so findet man, daß auch der Ablenkungswinkel d seine Größe ändert, bei einer gewissen Stellung des Prisma's am kleinsten wird und bei fortgesetzter Drehung wieder zunimmt. Das durch das Prisma gesehene Bild des leuchtenden Punktes scheint sich diesem bis auf einen gewissen Abstand zu nähern und entfernt sich dann wieder von demselben. Die gemessene Größe des kleinsten Ablenkungswinkels d und die bekannte Größe des brechenden Winkels des Prisma's ACB, welche wir mit c bezeichnen, reichen aus, um den Brechungsexponenten n der Substanz, aus welcher das Prisma besteht, zu berechnen.

Um dieß darzuthun, ziehen wir durch E und F die Einfallslothe GK und KH und setzen der Kürze wegen Winkel

$$\text{LEG} = a,\ \text{KEF} = b,\ \text{OFH} = a',\ \text{KFE} = b'.$$

Dann ist Winkel $b + b' + \text{EKF} = 180^0$, und wie leicht zu sehen, auch $\text{EKF} + c = 180^0$, folglich

$$1)\quad b + b' = c.$$

Ferner ist Winkel $d = \text{DEF} + \text{DFE} = a - b + a' - b' = a + a' - (b + b')$, also

$$2)\quad d = a + a' - c.$$

Nun läßt sich zeigen, daß die Summen $a + a'$ und folglich der Ablenkungswinkel d dann am kleinsten wird, wenn Winkel $b = b'$, also auch $a = a'$ ist. Denn wenn diese Bedingung nicht erfüllt, z. B. $b' > b$, also auch $a' > a$ ist, so ist zu Folge der Anmerkung zum vorhergehenden §. die Differenz,

$$a' - b' > a - b,$$

folglich auch

$$a' - a > b' - b.$$

Vermöge des Brechungsgesetzes ist

$$\sin a' = n \sin b'$$

und

$$\sin a = n \sin b.$$

Addiren wir diese Gleichungen und wenden zugleich eine bekannte trigonometrische Zusammenziehung an, so erhalten wir

$$2 \sin \frac{a' + a}{2} \cos \frac{a' - a}{2} = 2n \sin \frac{b' + b}{2} \cos \frac{b' - b}{2},$$

also, da $b + b' = c$ ist:

$$\sin \frac{a' + a}{2} = \frac{n \sin \tfrac{1}{2}c \cos \frac{b' - b}{2}}{\cos \frac{a' - a}{2}}.$$

und umgekehrtes Bild erscheint. — Das über dem umgekehrten Bilde eines Schiffes zuweilen sich zeigende aufrechte Bild dürfte als umgekehrtes Luftbild des im Wasser entstehenden verkehrten Bildes des Schiffes anzusehen sein und daher wegen der doppelten Umkehrung aufrecht erscheinen.

In seltenen Fällen hat man auch Luftbilder neben Gegenständen gesehen, was sich durch eine verschiedene Beschaffenheit der neben einander in gleicher Höhe liegenden Luftschichten erklären läßt.

Endlich müssen wir noch bemerken, daß die Luftbilder häufig in der Luft zu schwanken scheinen und sich meist mit unbestimmten Umrissen oder verzerrt zeigen, und daß dieselben nicht selten so schwach sind, daß sie nicht mit bloßem Auge, sondern nur durch ein Fernrohr wahrgenommen werden können.

*§. 201. Grund der Undurchsichtigkeit.

Wie wir im Vorhergehenden gesehen haben, erleidet das Licht bei dem Uebergange aus einem Mittel in ein anderes allemal einen Verlust, indem ein Theil des einfallenden Lichtes reflectirt, ein Theil absorbirt und nur ein Theil durchgelassen wird. Dieser Verlust ist besonders dann sehr stark, wenn die Brechungsvermögen beider Mittel sehr von einander verschieden sind, und das Licht aus dem stärker brechenden in das schwächer brechende übergeht. Ja, es kann dann sogar geschehen, wie wir in §. 199 gesehen haben, daß der einfallende Strahl gar nicht mehr durchgelassen wird, wenn nehmlich der Einfallswinkel eine gewisse Grenze überschreitet. Diese Grenze ist um so enger, je mehr das Brechungsvermögen des einen Mittels von dem des andern abweicht. Wenn daher Licht wiederholt aus einem Mittel in ein anderes übergeht, so muß dasselbe um so mehr geschwächt werden, je größer der Unterschied in dem Brechungsvermögen beider Mittel ist.

Es erklärt sich hieraus, warum der Schnee, der Schaum auf dem Seifenwasser oder Biere fast undurchsichtig ist; ferner, warum mattgeschliffenes oder pulverisirtes Glas in der Luft nur wenig Licht durchläßt, aber wieder durchsichtig wird, wenn man es mit Wasser oder noch besser mit Terpentinöl, welches mit dem Glase fast gleiches Brechungsvermögen besitzt, übergießt; — warum ein undurchsichtiges Papier beinahe durchsichtig wird, wenn man es mit Oel tränkt, welches die in den Poren desselben enthaltene Luft austreibt und an die Stelle derselben tritt, u. dgl. m.

Diese Erscheinungen führen zu der Vermuthung, daß die größere oder geringere Durchsichtigkeit der Körper auf der Anordnung ihrer kleinsten Theile und der Menge der zwischen denselben enthaltenen Poren beruht. Haben zwei Körper, wie z. B. Bergkrystall und gemeiner Quarz, dieselbe chemische Zusammensetzung und Dichtigkeit, aber verschiedene Grade der Durchsichtigkeit, so können wir vielleicht annehmen, daß in dem ersteren weniger und folglich größere, in dem letzteren mehr und also kleinere Poren vorhanden sind.

Der Engländer Brewster hat die obigen Erfahrungen dazu benutzt, um das Brechungsvermögen für solche Substanzen, welche man nur in kleinen unregelmäßigen Stücken besitzt, zu ermitteln. Man sucht nehmlich durch Mischung zweier das Licht verschieden brechenden Flüssigkeiten eine solche Flüssigkeit herzustellen, in welcher sich der fragliche Körper als vollkommen durchsichtig zeigt. Das Brechungsvermögen desselben ist dann dem der Mischung gleich. — Als Brewster ein unregelmäßiges und wegen seiner rauhen Oberfläche undurchsichtiges Stück Kronglas in canadischen Balsam warf, wurde dasselbe fast unsichtbar und so durchsichtig, daß er durch dasselbe lesen konnte.

Die Juweliere können die im Innern eines ungeschliffenen Edelsteins vielleicht vorhandenen feinen Risse dadurch entdecken, daß sie ihn in Sassafras- oder ein ähnliches Oel tauchen, in welchem derselbe durchsichtig wird, u. dgl. m.

E. Von der Farbenzerstreuung oder Dispersion des Lichtes.

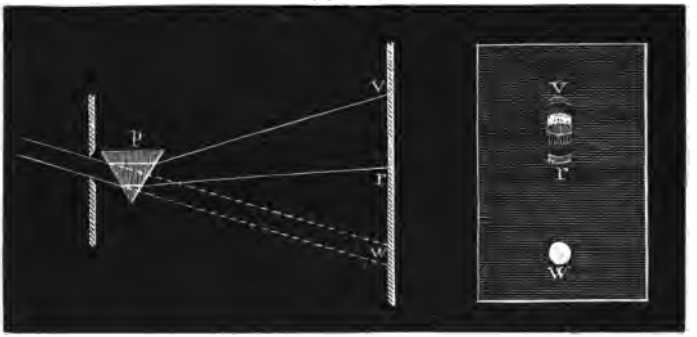
§. 202. Newton's Versuche.

Wir haben uns bisher vorzugsweise nur mit dem weißen Lichte beschäftigt und die Verschiedenheit der Farben ganz unberücksichtigt gelassen. Wir wenden uns nun zu der Untersuchung, wie sich in physikalischer Hinsicht die Lichtstrahlen, welche im Auge den Eindruck des weißen Lichtes hervorrufen, von denen, welche den Eindruck einer bestimmten Farbe erzeugen, und wie die verschiedenen Farben sich unter einander unterscheiden.

In dieser Hinsicht sind vorzüglich von Newton 1666 die folgenden entscheidenden Versuche angestellt worden:

1) Läßt man durch eine kleine Oeffnung in der Wand eines verfinsterten Zimmers das Licht der Sonne eintreten, und fängt die einfallenden Strahlen mit einem weißen Schirme auf, welcher eine zur Axe des eintretenden Lichtkegels senkrechte Lage hat, so entsteht, wie wir oben (§. 189) gesehen haben, auf dem Schirme ein kreisförmiges Sonnenbild w, Fig. 232. Läßt man

(Fig. 232.)



aber die Sonnenstrahlen durch ein Prisma p aus Glas hindurchgehen, so bemerkt man an dem Bilde an dem Schirme folgende Verschiedenheit: 1. 1) Das Bild, Spectrum, erscheint nicht mehr an der früheren Stelle w, sondern, wenn der brechende Winkel des Prisma's nach unten gekehrt ist, höher hinauf gerückt in vr, indem das durch das Prisma p hindurchgehende Sonnenlicht sowohl bei seinem Eintritt in das Prisma, als auch beim Austritt aufwärts gebrochen wird. 2. 2) Das Bild vr ist nicht, wie das vorher in w entstehende Bild, rund, sondern länglich, oben und unten von zwei Bogen, an den Seiten von geraden Linien begrenzt. 3. 3) Während in w ein weißes Bild entstand, ist das Bild vr gefärbt. Man unterscheidet an demselben hauptsächlich von unten nach oben folgende Farben: roth, orange, gelb, grün, blau, violett. Diese Farben sind jedoch nicht gegen einander scharf abgegrenzt, sondern gehen allmählig in einander über.

2) Wenn man die durch das Prisma hindurchgegangenen farbigen Strahlen auf eine Sammellinse (ein Brennglas) auffallen läßt, welches dieselben im Brennpunkte vereinigt, so erhält man wieder weißes Licht.

3) Befindet sich in dem das Spectrum auffangenden Schirme eine kleine Oeffnung, so daß nur ein Strahl von einer bestimmten Farbe, z. B. ein rother Strahl, durch dieselbe hindurchgehen kann, und läßt man diesen Strahl auf ein zweites Prisma auffallen, so wird derselbe auf's Neue gebrochen, aber

ohne eine Aenderung der Farbe zu erleiden. Er wird um so stärker durch das zweite Prisma gebrochen, je näher er sich im Spectrum dem violetten, um so schwächer, je näher er sich dem rothen Ende befindet.

Aus diesen Versuchen ziehen wir mit Newton folgende Schlüsse:

1) Das weiße Licht ist nicht einfach, sondern aus einer großen Menge verschiedenfarbiger Strahlen zusammengesetzt.

2) Die verschiedenfarbigen Strahlen unterscheiden sich durch die verschiedene Größe ihrer Brechbarkeit von einander. Die am stärksten brechbaren sind die violetten, die am schwächsten brechbaren die rothen.

3) Während jede Strahlengattung für sich allein den Eindruck einer bestimmten Farbe im Auge hervorruft, bringen alle vereinigt die Empfindung des weißen Lichtes hervor, wie besonders aus dem zweiten Versuche hervorgeht.

Nach der Vibrationshypothese unterscheiden sich die verschiedenen Farben eben so, wie die verschiedenen Töne in der Musik, durch die ungleiche Zahl der Schwingungen, welche sie in gleichen Zeiten vollenden, und zwar sind die violetten Strahlen diejenigen, welchen die größte, die rothen diejenigen, welchen die kleinste Vibrationsgeschwindigkeit zukommt. Bei dem Uebergange aus einem dünneren in ein dichteres Mittel erleiden die ersteren die größte, die letzteren die kleinste Verminderung ihrer Fortpflanzungsgeschwindigkeit*). Es müssen daher auch die ersteren am stärksten, die letzteren am schwächsten gebrochen werden, da, wie wir oben (in §. 197) gesehen haben, die Größe der Brechung, welche ein Lichtstrahl bei dem Uebergange aus einem Mittel in ein anderes erfährt, von dem gegenseitigen Verhältnisse der Geschwindigkeiten abhängt, mit welchen sich derselbe in beiden Mitteln fortpflanzt.

So wunderbar es uns auch erscheinen mag, daß das weiße Licht nicht einfach, sondern aus einer großen Menge verschiedenfarbiger Strahlen zusammengesetzt ist, so müssen wir doch noch hinzufügen, daß die Sonne und andere leuchtende Körper außer denjenigen Strahlen, welche für sich im Auge den Eindruck einer bestimmten Farbe hervorbringen, noch andere Strahlen aussenden, welchen diese Fähigkeit abgeht, sich aber durch anderweitige Wirkungen, thermische oder chemische, (vergl. unten §. 214 und 250) zu erkennen geben. Von diesen dunklen Strahlen haben die chemisch wirksamen eine noch größere Brechbarkeit und folglich auch eine größere Vibrationsgeschwindigkeit, als die violetten, die thermisch wirksamen dagegen eine noch geringere Brechbarkeit und also auch eine geringere Vibrationsgeschwindigkeit, als die rothen. — So wie wir oben gesehen haben, daß nur solche Schallwellen, deren Vibrationsgeschwindigkeit gewisse Grenzen nicht überschreitet, durch das Ohr vernommen werden, so wird Aehnliches auch für das Auge in Hinsicht der Aetherwellen gelten können. Auch diese werden nur als Licht empfunden, wenn ihre Vibrationsgeschwindigkeit innerhalb bestimmter Grenzen fällt.

Newton unterschied nach der Analogie der sieben Töne in der Musik sieben Hauptfarben: roth, orange, gelb, grün, blau, indigo, violett. Wirklich nimmt auch das Blau in dem prismatischen Farbenbilde einen größeren Raum ein, als die übrigen Farben, und lassen sich in demselben zwei Abstufungen, hell- und dunkelblau, unterscheiden.

Wenn man die obere ebene Fläche eines Kreisels in sieben Kreisausschnitte theilt, welche ohngefähr dieselbe verhältnißmäßige Größe haben, wie die Räume der sieben Farben im prismatischen Farbenbilde (Violett 80°, Indigo 40°, Blau 60°, Grün 60°, Gelb 48°, Orange 27°, Roth 45°), jeden dieser Ausschnitte mit der entsprechenden Farbe bemalt und dann den Kreisel in rasche drehende Bewegung setzt, so zeigt sich

*) Während hiernach in stärker brechenden Mitteln sich die Wellen des violetten Lichtes langsamer, als die des rothen ausbreiten, werden die Wellen sämmtlicher farbigen Strahlen durch den Aether des Weltraumes mit gleicher Geschwindigkeit fortgepflanzt, wie unter andern aus den Verfinsterungen der Trabanten des Jupiter folgt, da im entgegengesetzten Falle die Trabanten vor ihrem gänzlichen Verschwinden bei einer Finsterniß farbig erscheinen müßten, was jedoch keineswegs der Fall ist.

die bemalte Scheibe dem Auge von einer schmutzig weißen Farbe. Ein reines Weiß kann schon deßhalb nicht entstehen, weil es nicht möglich ist, Farbestoffe von ganz reiner Farbe zu erhalten, und weil im prismatischen Farbenbilde nicht bloß sieben, sondern weit mehr Farben vorhanden sind.

Indem die das weiße Sonnenlicht zusammensetzenden Strahlen in paralleler Richtung auf das Prisma auffallen, können sie nicht parallel, sie müssen vielmehr divergirend aus demselben austreten, weil sie in dem Prisma eine ungleiche Brechung erleiden. Es müssen daher statt eines weißen Sonnenbildes jetzt so viel verschiedenfarbige Sonnenbilder entstehen, als verschiedenfarbige, oder was dasselbe sagen will, verschieden brechbare Strahlen das weiße Licht zusammensetzen.

Daß das längliche prismatische Farbenbild wirklich aus einer Menge verschiedenfarbiger, in einander eingreifender und sich vermischender kreisförmiger Bilder zusammengesetzt ist, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man dasselbe durch ein Glas betrachtet, welches nur einer Strahlengattung einen Durchgang gestattet. Sieht man das prismatische Farbenbild durch ein tief roth gefärbtes Glas an, so erscheint dasselbe nicht mehr länglich und verschiedenfarbig, sondern kreisförmig und roth. Aehnliches gilt, wenn man ein anderes gefärbtes Glas, z. B. ein blaues, anwendet. (Man verschafft sich ein tief blau gefärbtes Glas sehr bequem auf die Art, daß man einer Kupfervitriollösung so lange Ammoniak zusetzt, bis der Niederschlag, welcher anfangs entsteht, sich wieder auflöst, und hierauf mit dieser Flüssigkeit eine Flasche mit parallelen Wänden füllt.)

Von den verschiedenfarbigen kreisförmigen Bildern, welche das längliche prismatische Farbenbild zusammensetzen, ist das der violetten Strahlen am weitesten von seiner ursprünglichen Stelle w, Fig. 232, durch das Prisma, bis v, das der rothen Strahlen am wenigsten, nur bis r durch das Prisma abgelenkt, weil die violetten Strahlen am stärksten, die rothen am wenigsten gebrochen werden. Die Bilder aller zwischenliegenden Strahlen decken sich zum Theil mit diesen und unter einander, greifen in einander ein; sie treten um so mehr aus einander, je weiter die das Farbenbild auffangende Wand von dem Prisma entfernt ist. Ist diese Entfernung zu klein, so daß das violette und rothe Bild noch in einander eingreifen, so erscheint die Mitte des Spectrums, weil hier noch alle farbigen Strahlen sich vereinigen, weiß und nur der obere und untere Rand gefärbt.

Aus gleichen Gründen erscheint ein weißer Gegenstand auf dunklem Grunde, z. B. ein weißer Papierstreifen, wenn derselbe nicht zu schmal ist, durch ein Prisma gesehen, an den der Längsaxe des Prisma parallelen Rändern gefärbt und in der Mitte weiß, während derselbe sich durchaus gefärbt zeigt, wenn er nur schmal oder von dem Prisma hinreichend weit entfernt ist.

Wenn man das Sonnenlicht in ein verfinstertes Zimmer durch eine längliche, aber schmale Oeffnung zunächst auf ein Prisma, dessen Axe der Länge der Oeffnung ohngefähr parallel ist, auffallen und nach der Brechung durch das Prisma in das Objectiv eines achromatischen Fernrohrs eintreten läßt, welches man so weit ausgezogen hat, daß man ohne das Prisma die Oeffnung deutlich in dem Fernrohr erblickt, so sieht man in dem durch das Fernrohr vergrößerten Farbenbilde eine Menge zur Längenausdehnung desselben senkrechter dunkler Streifen. Frauenhofer, welcher diese Art der Beobachtung des Farbenbildes zuerst ausgeführt hat, zählte deren im Ganzen 574. Aus diesem Versuche scheint zu folgen, daß das weiße Licht nicht aus einer unendlichen Menge verschiedenfarbiger Strahlen besteht, welche nach ihrer verschiedenen Brechbarkeit nach einer stetigen Folge in einander übergehen, sondern daß vielmehr die Zahl der verschiedenfarbigen Strahlen zwar sehr groß, aber begrenzt ist, und daß in Hinsicht ihrer Brechbarkeit Abstufungen zwischen denselben vorhanden sind, und also kein allmähliger Uebergang stattfindet.

Die Farbenbilder, welche andere leuchtende Körper, als die Sonne geben, wenn man das Licht derselben durch ein Prisma hindurchgehen läßt, zeigen ähnliche Erscheinungen, wie das prismatische Sonnenbild, jedoch ist das Verhältniß der Räume, welche die einzelnen Farben einnehmen, und die Vertheilung und Beschaffenheit der Frauenhofer'schen dunkeln Linien für verschiedene leuchtende Körper verschieden. Im Lichte glühenden Kalkes und brennenden Phosphors, welchen man mit Salpeter vermischt hat, fehlen die dunkeln Linien und herrscht keine Farbe vor. In dem gewöhnlichen Kerzenlichte überwiegen die gelben Strahlen; zwischen dem Rothen und Gelben zeigt sich ein heller Streifen und ein schwächerer im Grün u. dgl. m.

Sehr merkwürdig sind die von Draper in Amerika (1847) angestellten Untersuchungen, nach denen nicht phosphoreseirende, übrigens sehr verschiedenartige Körper,

wie Platin, Eisen, Messing, Antimon, Blei und Kohle, wenn sie erwärmt werden, sämmtlich bei der nehmlichen Temperatur leuchtend werden, und das Glühen bei allen mit dem rothen, also dem am wenigsten brechbaren Lichte beginnt und erst bei zunehmender Temperatur die mehr brechbaren Strahlen bis zu den violetten hinzutreten, so daß mit der Erhöhung der Temperatur nicht bloß die Intensität, sondern auch die Mannigfaltigkeit des ausgesendeten Lichtes zunimmt.

Von hohem Interesse sind ferner die in neuerer Zeit besonders von Bunsen und Kirchhoff in Heidelberg (1860) angestellten Beobachtungen, daß verschiedene Substanzen, ins Besondere die Alkalien und alkalischen Erden, wenn sie in irgend eine Flamme eingeführt werden, in dem Spectrum dieser Flamme gewisse helle Linien erscheinen lassen. Da diese Linien für die betreffenden Substanzen charakteristisch sind und sofort sich deutlich zeigen, auch wenn diese Substanzen in so geringen Mengen in die Flamme gebracht werden, daß sie durch die gewöhnlichen chemischen Reagentien nicht nachzuweisen sein dürften, so versprechen diese Erscheinungen für chemische Untersuchungen von großer Wichtigkeit zu werden. Vergl. Pogg. Ann. B. 110, S. 161.

§. 203. Einfache und gemischte Farben.

Wir haben oben gesehen, daß, wenn man sämmtliche farbige Strahlen des prismatischen Farbenbildes durch eine Sammellinse vereinigt, wieder Weiß entsteht. Schließt man eine bestimmte Strahlengattung durch einen vorgesetzten Schirm, z. B. die rothen Strahlen, aus und vereinigt die übrigen Strahlen, so erhält man nicht Weiß, sondern Grün; und wenn man umgekehrt aus dem prismatischen Farbenbilde die grünen Strahlen ausscheidet und die übrigen vereinigt, so erhält man Roth. Man nennt Farben, welche sich wie Roth und Grün in dem angeführten Beispiele verhalten, complementäre Farben. Complementäre Farben sind also zunächst Roth und Grün, ferner Orange und Blau, Gelb und Violett.

Eben so geben, wenn man aus dem prismatischen Farbenbilde nicht bloß eine, sondern mehrere Farben ausschließt, die übrigen bei ihrer Vereinigung immer wieder eine bestimmte Farbe.

Aus dem Angeführten folgt, daß die Empfindung einer bestimmten Farbe auf zweierlei Weise im Auge entstehen kann, entweder durch die Einwirkung einer einzigen bestimmten Strahlengattung oder durch das Zusammenwirken mehrerer verschiedenfarbiger Strahlen. Man unterscheidet hiernach einfache und gemischte Farben, welche im Auge nahezu die nehmliche Empfindung hervorbringen, sich aber ganz leicht durch ein Prisma von einander unterscheiden lassen, indem eine einfache Farbe, durch das Prisma gesehen, unverändert bleibt, eine zusammengesetzte aber in die Farbenstrahlen zerlegt wird, aus denen sie besteht.

Nach den von Helmholtz (1852) bekannt gemachten Untersuchungen weichen die Farbenempfindungen, welche man durch die Vereinigung zweier Farben des prismatischen Farbenbildes erhält, wesentlich von den Farben ab, welche durch die Vermischung der betreffenden Farbestoffe entstehen. In der folgenden Tabelle zeigen die erste horizontale und die erste verticale Spalte prismatische Farben an, welche vereinigt die an der Kreuzungsstelle der betreffenden Spalte angeführte Farbe geben.

	Violett	Blau	Grün	Gelb	Roth
Roth	Purpur	Rosa	Mattgelb	Orange	Roth
Gelb	Rosa	Weiß	Gelbgrün	Gelb	
Grün	Blaßblau	Blaugrün	Grün		
Blau	Indigoblau	Blau			
Violett	Violett				

Man findet hier z. B. ganz abweichend von dem Verhalten gelber und blauer Farbestoffe, welche bekanntlich bei ihrer Vermischung Grün liefern, daß das prismatische

Gelb und Blau zusammen Weiß erzeugen. Diese Verschiedenheit erklärt sich daraus, daß gelbe Farbestoffe nicht bloß gelbe, sondern noch mehr oder weniger andere, ins Besondere grüne, und eben so blaue Farbestoffe außer den blauen auch grüne Strahlen reflectiren. Es muß daher die Vermischung dieser Farbestoffe vorzugsweise die Empfindung der grünen Farbe hervorrufen, da die gelben und blauen Strahlen sich zu Weiß ergänzen.

Nach Helmholtz läßt sich Weiß auch durch die Vereinigung der drei prismatischen Farben: Roth, Grün und Violett, ferner durch zwei Farben: Indigo und Gelb, und durch verschiedene andere Combinationen erzeugen.

§. 204. Natürliche Farben der Körper.

Die vorhergehenden Untersuchungen betrafen zunächst das Sonnenlicht. Die aus denselben gezogenen Folgerungen gelten jedoch auch von dem Lichte anderer selbstleuchtender Körper, so wie auch von dem reflectirten Lichte, durch welches uns die dunkeln, nicht selbst leuchtenden Körper sichtbar werden. In letzterer Hinsicht führen wir noch Folgendes an:

Die Farbe, mit welcher sich uns die Körper im reflectirten Sonnen- oder Tageslichte zeigen, hängt von dem Verhältnisse ab, nach welchem dieselben die das weiße Licht zusammensetzenden, verschiedenfarbigen Strahlen reflectiren oder absorbiren. Ein Körper erscheint *weiß*, wenn er sämmtliche farbige Strahlen in einem ziemlich gleichen Verhältnisse reflectirt. *Ein vollkommen weißer Körper* müßte dieß nach einem ganz gleichen Verhältnisse thun. Ein Körper heißt *schwarz*, wenn er überhaupt nur wenig Licht reflectirt; ein *vollkommen schwarzer Körper* müßte alle auffallenden Lichtstrahlen absorbiren und gar keine zurückwerfen. Ein solcher existirt in der Natur eben so wenig, als ein vollkommener weißer Körper. — Ein Körper zeigt sich uns im reflectirten Sonnen- oder Tageslichte mit einer bestimmten Farbe, wenn er gewisse Strahlengattungen im stärkeren Verhältnisse reflectirt und andere im stärkeren Verhältnisse absorbirt. Ein Körper erscheint uns z. B. roth, wenn er von den das weiße Licht zusammensetzenden Strahlen vorzugsweise die rothen reflectirt. Ein vollkommen rother Körper müßte nur rothes Licht reflectiren und alle andern Strahlengattungen absorbiren; ein solcher findet sich jedoch in der Natur nicht, indem die Farben aller bekannten Körper niemals einfach, sondern immer mehr oder weniger zusammengesetzt sind, wovon man sich auf die schon im vorhergehenden Paragraphen angegebene Weise überzeugen kann, indem man dieselben durch ein Prisma betrachtet.

Die *durchsichtigen* Körper, welche dem Lichte einen Durchgang verstatten, thun dieses entweder in ziemlich gleichem Verhältnisse für alle Strahlengattungen und heißen dann *wasserhell*, z. B. Bergkrystall, Wasser, so genanntes weißes Glas; oder sie lassen vorzugsweise nur gewisse Strahlengattungen durch, während sie die übrigen im stärkeren Verhältnisse verschlucken, und erscheinen uns dann mit einer bestimmten Farbe. — Die meisten Körper zeigen die nehmliche Farbe im durchgelassenen, wie im reflectirten Lichte. So erscheint uns z. B. ein blaues Glas sowohl im durchgelassenen, als auch im reflectirten Lichte, blau, indem dasselbe die blauen Strahlen überwiegend reflectirt und durchläßt, die übrigen dagegen absorbirt. Einige durchsichtige Körper zeigen jedoch im reflectirten und durchgelassenen Lichte verschiedene Farben; so z. B. erscheint Goldblatt, auf weißes Glas aufgeklebt, im reflectirten Lichte gelb, im durchgelassenen grün, Knochenglas (Milchglas) im reflectirten Lichte bläulich weiß, im durchgelassenen roth u. dgl. m.

Wir brauchen wohl nicht erst auf den Unterschied zwischen Farbe und Farbestoff aufmerksam zu machen, indem Farbe eine Eigenschaft, Farbestoff aber eine Materie bedeutet, welcher diese Eigenschaft zukommt. Im gemeinen Leben wird zwar das Wort Farbe auch häufig in der Bedeutung von Farbestoff genommen; wir gebrauchen jedoch in der Physik das Wort Farbe stets in seiner eigentlichen Bedeutung, und verstehen darunter eine Eigenschaft und nicht einen Stoff.

Wir haben oben im Haupttexte nur den Fall berücksichtigt, daß die Körper durch weißes, also aus allen verschiedenfarbigen Strahlen zusammengesetztes Licht erleuchtet sind. Wir nennen die Farben, mit denen sich die Körper uns dann zeigen, die natürlichen Farben derselben. Diese Farben erleiden jedoch Veränderungen, wenn die Körper nicht durch weißes, sondern durch einfarbiges Licht erleuchtet werden. Fällt z. B. auf eine weiße Fläche rothes Licht, so kann dieselbe natürlich auch nur rothes Licht reflectiren und muß uns folglich roth erscheinen. So erscheinen z. B. die Wolken und andere weiße Körper des Abends, wenn sie von der Abendröthe erleuchtet werden, roth. Ein Körper, welcher für gewöhnlich, d. h. im weißen Tageslichte, roth erscheint, thut dies natürlich auch dann, wenn er nur von rothen Strahlen getroffen wird, weil er ja gerade diese vorzugsweise zu reflectiren vermag. Wenn aber ein Körper, welcher nur rothes Licht zu reflectiren vermag, von irgend einer andern Strahlengattung, z. B. von grünem Lichte getroffen wird, so muß derselbe schwarz erscheinen.

Wenn man den Docht einer Spirituslampe stark mit gewöhnlichem Kochsalz einreibt, so giebt die Flamme derselben ein fast ganz einfarbiges gelbes Licht. Betrachtet man dieselbe durch ein Prisma, so sieht man außer einem rein gelben Bilde nur noch ein sehr mattes violettes Bild. Wenn man nun ein Zimmer Abends nur durch eine solche, fast einfarbig gelbe Flamme erleuchtet und bei diesem Lichte Gegenstände, welche im Tages- oder gewöhnlichen Kerzenlichte recht lebhafte und bunte Farben zeigen, z. B. bunte Blumen, Papiere, seidene oder wollene Zeuge u. dgl. betrachtet, so zeigen dieselben eine äußerst überraschende Veränderung der Farbe, so daß man sie kaum wieder zu erkennen vermag. Roth, welches etwas an's Gelbe grenzt, zeigt sich in diesem Lichte schmutzig gelb; Roth, welches von Gelb frei ist, erscheint schwarz oder bräunlich; Grün und Blau erscheinen grau oder gelblich grau; die buntesten Tücher, Gemälde u. s. w. zeigen sich in einem eintönigen gelben Colorit.

In Betreff des in durchsichtige Körper eintretenden Lichtes haben wir noch die folgende merkwürdige Erscheinung anzuführen, welche schon von Herschel und Brewster beobachtet, in neuerer Zeit aber besonders von dem Engländer Stokes näher untersucht und mit dem Namen Fluorescenz bezeichnet worden ist. Wenn man eine Auflösung von schwefelsaurem Chinin in angesäuertem Wasser bereitet, und die Flüssigkeit von vornher vom Tageslichte oder noch besser von directem Sonnenlichte erleuchtet wird, so erscheint dieselbe im durchgelassenen Lichte wasserhell, von oben her gesehen aber von himmelblauer Farbe. Aehnliches Verhalten zeigen auch noch viele andere Substanzen, unter den festen Körpern Flußspath und durch Uran gelblichgrün gefärbtes Glas, ferner ätherische oder alkoholische Auflösungen von Pflanzenstoffen, wie Blattgrün, ein Absud von Roßkastanien, Curcumatinctur u. dgl. m. — Stokes erklärt diese Erscheinung durch die Annahme, daß die am raschesten schwingenden Wellen der chemisch wirksamen Strahlen in den angeführten Medien Wellen von geringerer Vibrationsgeschwindigkeit, welche sich als farbiges Licht zeigen, hervorrufen.

Ueberhaupt kann man annehmen, daß fluorescirende Körper auffallendes Licht von bestimmter Brechbarkeit in zerstreutes Licht von geringerer Brechbarkeit verwandeln. — Auch im reflectirten Lichte zeigen viele Substanzen, weißes Papier, Muschelschalen, Knochen u. a. m. die Erscheinungen der Fluorescenz.

§. 205. Die Bläue des Himmels, das Morgen- und Abendroth.

Die blaue Farbe des Himmels läßt uns schließen, daß die Lufttheilchen von den verschiedenen farbigen Strahlen, welche das weiße Sonnenlicht zusammensetzen, die blauen in stärkerem Verhältnisse, als die übrigen Strahlen reflectiren. Der Himmel erscheint um so reiner blau, je freier die Atmosphäre von Dunstbläschen, Nebel, Staub- und Rauchtheilchen ist, welche, wenn sie in größerer Menge vorhanden sind, dem Himmel ein graues Ansehen ertheilen. Daher erscheint nach einem Regen, durch welchen die der

Luft beigemengten, nicht gasförmigen Theile niedergeschlagen werden, der Himmel mit dem schönsten Blau.

Die Erscheinungen der Morgen- und Abendröthe, so wie der Umstand, daß die Sonne und der Mond beim Auf- und Untergange, wo die Strahlen derselben einen weit größeren Weg in den dichteren Schichten der Atmosphäre zurücklegen, als wenn dieselben am hohen Himmel stehen, zeigen uns, daß die in Folge der nächtlichen Abkühlung mit Dunstbläschen erfüllte atmosphärische Luft den rothen Strahlen in reichlicherem Maße, als den übrigen den Durchgang gestattet.

Vergl. auch unten §. 211.

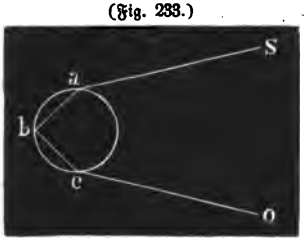
§. 206. Der Regenbogen.

Dieselben Farben, wie das prismatische Sonnenbild, zeigt uns eine der schönsten Naturerscheinungen, der Regenbogen. Derselbe erscheint, wie schon sein Name aussagt, nur bei niederfallendem Regen, wenn zugleich die Sonne scheint. Er bildet einen kreisförmigen, an der äußeren Seite roth, an der inneren violett gefärbten Bogen, der Sonne gegenüber, am Himmel. Eine gerade Linie, durch die Sonne und das Auge des Beobachters gezogen, geht durch den Mittelpunkt des Kreises, von welchem der Regenbogen ein Theil ist. Aus diesem Hauptsatze ergeben sich folgende besondere Gesetze: So wie die Sonne oder der Beobachter ihren Stand verändern, so ändert sich auch die Lage des Regenbogens, und Beobachter der Erscheinung an verschiedenen Standpunkten sehen nicht denselben, sondern verschiedene Regenbogen. Der Bogen ist um so größer, je niedriger die Sonne steht; er bildet einen Halbkreis, sein Mittelpunkt fällt in den Horizont, wenn auch die Sonne im Horizonte steht. Der Mittelpunkt des Bogens fällt um so tiefer unter den Horizont, und der Bogen bildet einen um so kleineren Theil von einem Kreise, je höher die Sonne am Himmel steht. Uebersteigt die Höhe der Sonne eine gewisse Grenze (42^0), so entsteht überhaupt kein Regenbogen.

Neben dem Hauptbogen sieht man häufig an der äußeren Seite desselben einen, jedoch bei Weitem schwächeren, Nebenbogen, dessen Farben gerade die umgekehrte Folge, wie im Hauptbogen, haben.

Der Regenbogen zeigt sich allemal der Sonne gegenüber; es können daher die von der Sonne ausgehenden Strahlen, welche die Erscheinung desselben bewirken, von den Regentropfen nur nach einer Reflexion in unser Auge gelangen. Weil aber die bloße Reflexion nicht mit Farbenzerstreuung verbunden ist, sondern diese in Folge einer Brechung des Lichtes eintritt, so können nur solche Strahlen, welche in die Tropfen selbst eingetreten sind, den Regenbogen hervorbringen. Hieraus ergiebt sich für die den Hauptbogen erzeugenden Strahlen folgender Weg:

(Fig. 233.)



Es sei abc, Fig. 233, der in vergrößertem Maßstabe gezeichnete Durchschnitt eines Regentropfens, sa ein Sonnenstrahl, welcher die Oberfläche des Tropfens in a trifft und hier (zum Einfallslothe) in der Richtung ab gebrochen wird. An der hinteren Fläche in b wird derselbe zum Theil hindurchgelassen, zum Theil in der Richtung bc zurückgeworfen; in c, wo er aus dem Regentropfen aus-

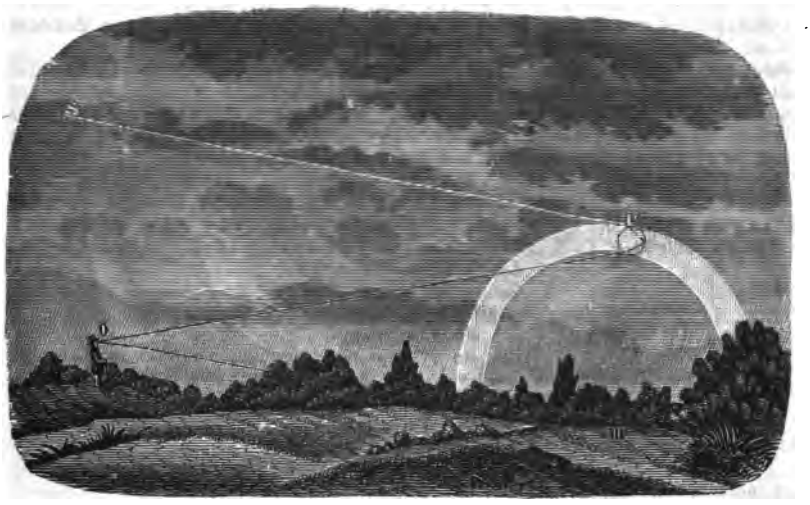
tritt, erleidet er eine zweite Brechung (und zwar vom Einfallslothe) in der Richtung co und gelangt so, nachdem er eine zweimalige Brechung und einmalige Zurückwerfung erfahren hat, in ein Auge, welches wir in o annehmen wollen.

Die in paralleler Richtung auf den Regentropfen auffallenden, aber an verschiedenen Punkten seiner Oberfläche in denselben eintretenden Strahlen, treten im Allgemeinen nicht in parallelen, sondern in stark divergirenden Richtungen aus demselben aus. Befindet sich nun das Auge in der Richtung dieser divergirenden Strahlen, so werden nur sehr wenige derselben durch die Pupille ins Auge gelangen und keine wahrnehmbare Empfindung hervorbringen können. Da aber der Regentropfen sich dem Auge in lebhaftem Farbenglanze zeigt, so kann dieß nur auf die Art bewirkt werden, daß ein Theil der in dem Regentropfen gebrochenen und reflectirten Strahlen nicht erheblich divergirend, sondern nahezu parallel aus demselben austritt und sich das Auge in der Richtung des Büschels dieser parallelen Strahlen befindet, welchen wir, eben weil durch sie eine lebhafte Empfindung hervorgebracht wird, den Namen der wirksamen Strahlen beilegen wollen.

Da die das weiße Licht zusammensetzenden verschiedenfarbigen Strahlen eine ungleiche Brechbarkeit besitzen, so treten auch bei dem nehmlichen Regentropfen die wirksamen Strahlen verschiedener Farbengattungen nach verschiedenen Richtungen aus. Es können daher von dem nehmlichen Regentropfen in das Auge des Beobachters nicht zugleich wirksame Strahlen von verschiedener, sondern nur von einer einzigen Farbengattung gelangen. Gilt dieß z. B. von den wirksamen rothen Strahlen, so kann das nehmliche nicht auch in Hinsicht der wirksamen Strahlen der übrigen Farbengattungen der Fall sein, und der Regentropfen muß sich folglich dem Auge in rothem Lichte zeigen.

Daß aber, wenn von einem Regentropfen r, Fig. 234, die wirksamen Strahlen irgend einer Farbengattung ins Auge gelangen, dasselbe auch von

(Fig. 234.)

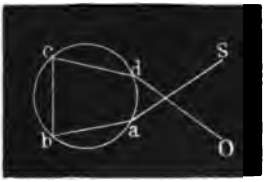


allen anderen Regentropfen gelten muß, welche auf einem Kreisbogen liegen, dessen Mittelpunkt m in die Verlängerung der durch die Sonne und das

Auge des Beobachters gehenden Linie os fällt, geht leicht daraus hervor, daß diese Tropfen eine ganz gleiche Lage gegen die Sonne und den Beobachter haben.

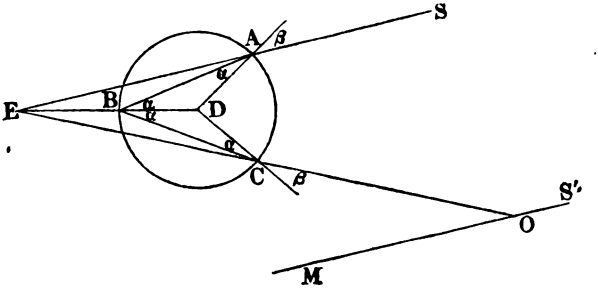
So wie der Hauptbogen durch solche Sonnenstrahlen erzeugt wird, welche in dem Regentropfen eine zweimalige Brechung und einmalige Zurückwerfung erfahren haben, so wird der Nebenbogen in ganz ähnlicher Art durch solche Strahlen hervorgebracht, welche ebenfalls eine zweimalige Brechung, aber auch eine zweimalige Reflexion an der inneren Seite des Regentropfens erlitten haben. In Fig. 235 zeigt as die Richtung des einfallenden, do die Richtung des austretenden Strahles und die gebrochene Linie abcd den Weg des Lichtes im Innern des Regentropfens an.

(Fig. 235.)



Wenn wir in Fig. 236, welche der im Haupttexte behandelten Fig. 233 entspricht, die Richtungen des einfallenden Strahles AS und des austretenden Strahles CO verlängeren, bis sie sich im Punkte E schneiden, ferner die Punkte A, B und C mit dem Mittelpunkte D verbinden, so ist nach dem Reflexionsgesetze Winkel ABD = CBD, folglich auch W. BAD = BCD und W. EAD = ECD; es muß daher auch die verlängerte BD durch den Punkt E gehen. Setzen wir der Kürze wegen

(Fig. 236.)



W. BAD = BCD = α und W. EAD = ECD = β, so ist W. EAB = ECB = $\beta - \alpha$, und W. AEB = ABD − EAB = $\alpha - (\beta - \alpha) = 2\alpha - \beta$, also der Winkel, welcher die Richtung des einfallenden Strahles AS und die Richtung des austretenden Strahles CO mit einander bildet,

$$1)\quad E = 4\alpha - 2\beta.$$

Denken wir uns ferner einen Strahl SA', welcher in paralleler Richtung mit SA, aber nicht in dem Punkte A, sondern in einem benachbarten Punkte A' die Oberfläche des Regentropfens treffen möge, und geben wir für denselben den Buchstaben α', β', E' die nehmliche Bedeutung, welche wir den Buchstaben α, β, E für den Strahl SA beigelegt haben, so ist aus gleichen Gründen, wie wir eben entwickelt haben:

$$E' = 4\alpha' - 2\beta'.$$

Soll nun der dem einfallenden Strahle SA' zugehörige austretende Strahl, welchen wir C'O' nennen wollen, mit CO parallel sein, so muß offenbar, da wir SA ∥ SA' angenommen haben, Winkel E' = E, also

$$4\alpha' - 2\beta' = 4\alpha - 2\beta$$

oder

$$2)\quad 2\alpha' - \beta' = 2\alpha - \beta$$

sein. — Zu Folge des Brechungsgesetzes ist, wenn wir den Brechungsexponenten mit n bezeichnen,

$$3)\quad \sin\beta = n \sin\alpha$$

und

$$4)\quad \sin\beta' = n \sin\alpha'.$$

Setzen wir die Differenz $\alpha' - \alpha = u$ und $\beta' - \beta = v$, also $\alpha' = \alpha + u$ und $\beta' = \beta + v$, so verwandelt sich zunächst die Gleichung (2) in

$$5)\quad 2u - v = 0,$$

und die Gleichung (4) geht über in

$$\sin(\beta + v) = n \sin(\alpha + u),$$

oder wenn wir entwickeln:

$$6)\quad \sin\beta \cos v + \cos\beta \sin v = n \sin\alpha \cos u + n \cos\alpha \sin u.$$

Da wir den Punkt A' als dem Punkte A nahe benachbart angenommen haben, so ist β' von β und folglich auch α' von α nur wenig verschieden. Da hiernach u und v

sehr kleine Winkel bezeichnen, so werden wir ohne erheblichen Fehler cos u und cos v = 1 setzen können, wodurch die Gleichung (6) übergeht in

$$\sin\beta + \cos\beta \sin v = n \sin\alpha + n \cos\alpha \sin u,$$

oder da $\sin\beta = n \sin\alpha$ ist:

$$\cos\beta \sin v = n \cos\alpha \sin u,$$

also

$$7) \quad \frac{\sin v}{\sin u} = \frac{n \cos\alpha}{\cos\beta}.$$

Da das Verhältniß der Sinus sehr kleiner Winkel von dem Verhältniß der Winkel selbst kaum verschieden ist, so werden wir hierfür auch setzen können

$$8) \quad \frac{v}{u} = \frac{n \cos\alpha}{\cos\beta}.$$

Soll also, wie es die Gleichung (5) vorschreibt, 2u = v sein, so muß vermöge Gleichung

$$9) \quad 2 \cos\beta = n \cos\alpha$$

sein. Quadriren wir diese Gleichung, so verwandelt sich dieselbe in

$$4 \cos\beta^2 = n^2 \cos\alpha^2,$$

oder

$$4 - 4 \sin\beta^2 = n^2 - n^2 \sin\alpha^2,$$

oder da

$$n \sin\alpha = \sin\beta$$

ist:

$$4 - 4 \sin\beta^2 = n^2 - \sin\beta^2,$$

woraus sich

$$10) \quad \sin\beta = \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}$$

ergiebt. Hat der Winkel EAD = β den durch diese Gleichung bestimmten Werth, so tritt ein parallel mit AS und nahe bei A auf den Regentropfen auffallender Strahl A'S an der unteren Seite bei C in einer dem austretenden Strahle CO fast parallelen Richtung aus.

Haben wir aus der Gleichung (10) den betreffenden Werth von β gefunden, so erhalten wir den zugehörigen Werth von α durch die Gleichung

$$11) \quad \sin\alpha = \frac{\sin\beta}{n}$$

und den Werth des Winkels E durch die Gleichung

$$12) \quad E = 4\alpha - 2\beta.$$

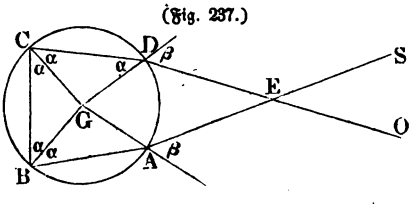
Denken wir uns durch das Auge O des Beobachters eine mit AS parallele Linie S'O gezogen, welche, über O nach M hin verlängert, wie schon oben bemerkt, durch den Mittelpunkt des Regenbogens geht, so ist Winkel SEO = EOM. Die Gleichung (12) giebt uns hiernach die Größe des Winkels an, welchen die wirksamen Strahlen mit einer durch das Auge des Beobachters nach der Sonne gezogenen Linie bilden.

Nun ist der Brechungsexponent n bei dem Uebergange des Lichtes aus Luft in Wasser für die rothen Strahlen ohngefähr gleich $\frac{108}{81}$, für die violetten gleich $\frac{109}{81}$. Führen wir diesen Werthen gemäß die Rechnung nach den Gleichungen (10), (11) und (12) aus, so erhalten wir

für die rothen Strahlen	für die violetten Strahlen
$\beta = 59^0\ 23'$	$\beta = 58^0\ 40'$
$\alpha = 40^0\ 12'$	$\alpha = 39^0\ 24'$
$E = 42^0\ 2'$	$E = 40^0\ 16'$.

Es ergiebt sich hieraus die Breite des Regenbogens $= 42^0\ 2' - 40^0\ 16' = 1^0\ 46$. Weil uns aber die Sonne nicht als ein Punkt, sondern unter dem beträchtlichen Durchmesser von 31' erscheint, so werden wir diese Zahl noch um 31' zu vergrößern, also die Breite des Regenbogens $= 2^0\ 17'$ anzunehmen haben.

(Fig. 237.)



Die Bestimmungen für den Nebenregenbogen erhalten wir durch eine der vorhergehenden ganz ähnliche Ueberlegung. In dem Fünfeck ABCDE (Fig. 237) ist die Summe aller Winkel

$$A + B + C + D + E = 540^0.$$

Nun ist aber Winkel $A = D = (180^0 - \beta) + \alpha$ und Winkel $B = C = 2\alpha$. Setzen wir diese Werthe in die obige Gleichung ein, so erhalten wir

$$360^0 - 2\beta + 6\alpha + E = 540^0,$$

also

$$1) \quad E = 180^0 + 2\beta - 6\alpha.$$

Geben wir für einen mit AS parallelen, nahe bei A die Oberfläche des Regentropfens treffenden Strahl A'S den Buchstaben α', β', E' analoge Bedeutungen, wie wir den Buchstaben α, β, E für den Strahl AS beigelegt haben, so werden wir ferner

$$E' = 180^0 + 2\beta' - 6\alpha'$$

zu setzen haben. Subtrahiren wir von dieser Gleichung die vorhergehende und setzen $\alpha' - \alpha = u$ und $\beta' - \beta = v$, so erhalten wir weiter

$$2)\quad E' - E = 2v - 6u,$$

woraus sich, wenn der dem einfallenden Strahle A'S entsprechende austretende Strahl dem Strahle DO parallel sein soll,

$$3)\quad v = 3u$$

ergiebt. Behandeln wir nun die aus dem Brechungsgesetze hervorgehenden Gleichungen

$$4)\ \sin\beta = n\sin\alpha \quad \text{und} \quad 5)\ \sin\beta' = n'\sin\alpha'$$

in gleicher Weise wie oben, so bekommen wir, eben so wie dort,

$$6)\quad \frac{v}{u} = \frac{n\cos\alpha}{\cos\beta},$$

und wenn wir aus Gleichung (3) den Werth von v einsetzen:

$$7)\quad 3\cos\beta = n\cos\alpha.$$

Rechnen wir in derselben Weise weiter, wie dieß oben geschehen ist, so ergiebt sich

$$8)\quad \sin\beta = \sqrt{\frac{9 - n^2}{8}}$$

Verbinden wir hiermit die Gleichungen

$$9)\quad \sin\alpha = \frac{\sin\beta}{n}$$

und

$$10)\quad E = 180^0 + 2\beta - 6\alpha,$$

so erhalten wir

für die rothen Strahlen	für die violetten Strahlen
$\beta = 71^0\ 52'$	$\beta = 71^0\ 39'$
$E = 50^0\ 58'$	$E = 54^0\ 10'$.

Die Breite des Nebenregenbogens ist folglich

$$= (54^0\ 10') - (50^0\ 58') + 31' = 3^0\ 43'.$$

Die beiden Regenbogen sind von einander durch einen dunklen Zwischenraum getrennt, welcher sich von dem Roth des äußeren bis zum Violett des inneren Bogens erstreckt, und dessen Breite folglich $50^0\ 58' - 42^0\ 2' = 8^0\ 56'$ beträgt.

§. 207. Vom Achromatismus.

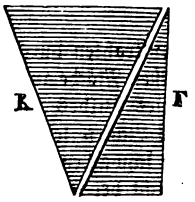
Wir haben oben gesehen, daß mit jeder Brechung auch zugleich eine Farbenzerstreuung, Dispersion des Lichtes, verbunden ist. Wir unterscheiden bei einer durchsichtigen Substanz das Brechungs- und das Zerstreuungsvermögen. Wenn wir in der optischen Kammer die durch eine kleine Oeffnung einfallenden Sonnenstrahlen durch ein Prisma hindurchgehen lassen, so hängt der Winkel, um welchen das Sonnenbild von seiner früheren Stelle fortgerückt wird, von dem Brechungsvermögen, die Ausdehnung aber, welche dasselbe hierbei in der Länge erfährt, von dem Zerstreuungsvermögen des Prisma's ab. Das Brechungsvermögen wird durch den Brechungsexponenten der Strahlen mittlerer Brechbarkeit, das Zerstreuungsvermögen durch den Unterschied zwischen dem Brechungsexponenten der violetten und der rothen Strahlen bestimmt.

Vergleicht man verschiedene durchsichtige Substanzen mit einander, so findet man ein ungleiches Verhältniß zwischen dem Brechungs- und dem Zerstreuungsvermögen. So bricht z. B. das Flintglas, bleihaltige Glas, das Licht nur wenig stärker, als Kron- oder Spiegelglas, während es die Farben in bedeutend größerem Verhältnisse zerstreut, als dieses.

Hierdurch wird es möglich, ein Prisma herzustellen, welches das Licht bricht, ohne es zu zerstreuen. Um dieses einzusehen, seien K und F, Fig. 238,

die Durchschnitte zweier aus verschiedenen Substanzen verfertigten Prismen, welche wir uns so aneinander gelegt denken, daß die brechenden Winkel derselben eine entgegengesetzte Lage haben. Ein durch beide Prismen hindurchgehender Lichtstrahl erleidet daher in denselben entgegengesetzte Brechungen und entgegengesetzte Farbenzerstreuungen. Wenn nun die Substanz, aus welcher F besteht, das Licht in bedeutend stärkerem Verhältnisse zerstreut, als die Substanz, aus welcher K besteht, so muß offenbar der brechende Winkel von K beträchtlich größer, als der von F sein, wenn die Farbenzerstreuung, welche ein Lichtstrahl in F erleidet, durch die in K aufgehoben werden soll. Wenn aber die Substanz, aus welcher F besteht, das Licht eben so stark (oder nur wenig stärker) bricht, als K, so wird unter den angeführten Bedingungen die Brechung, welche ein Lichtstrahl in K erleidet, die entgegengesetzte in F übertreffen. Ein durch beide Prismen hindurchgehender Lichtstrahl wird daher eine Ablenkung, aber keine Farbenzerstreuung erleiden.

(Fig. 238.)



Ein solches Prisma, welches das Licht bricht, ohne die farbigen Strahlen zu zerstreuen, wird ein achromatisches genannt und ist zuerst von dem Engländer Dollond 1757 hergestellt worden. — Die große Wichtigkeit dieser Erfindung für optische Instrumente, in's Besondere für Fernröhre, werden wir weiter unten kennen lernen.

Bezeichnen N und n für irgend eine Substanz die Brechungsexponenten für die violetten und rothen Strahlen und n' den Brechungsexponenten für die Strahlen mittlerer Brechbarkeit, als welche man die gelben annimmt, so wird der Quotient

$$\frac{N - n}{n' - 1}$$

als das Maaß des Zerstreuungsvermögens dieser Substanz angesehen. Hierauf beziehen sich die Zahlen der letzten Spalte der oben in der Anmerkung zu §. 196 mitgetheilten Tabelle A.

Da die Farben des prismatischen Sonnenbildes, wenn man es auf die gewöhnliche Weise darstellt, allmählig in einander übergehen, keine scharfen Abgrenzungen darbieten, so hält es sehr schwer, die Brechungsexponenten für die verschiedenen farbigen Strahlen, die rothen, gelben, grünen u. s. w., mit Genauigkeit zu ermitteln. In dieser Beziehung sind die oben angegebenen dunkeln Frauenhofer'schen Linien von großer Wichtigkeit, weil sie eine weit schärfere Abmessung gestatten.

Wiewohl für verschiedene, das Licht brechende Substanzen die Aufeinanderfolge der einzelnen Farben und der Frauenhofer'schen Linien im Spectrum immer die nehmliche ist, so stehen doch die von den einzelnen Farben eingenommenen und durch die dunkeln Linien von einander getrennten Räume für verschiedene Substanzen in einem sehr ungleichen Verhältnisse. Das Verhältniß, nach welchem zwei Substanzen die rothen und violetten Strahlen zerstreuen, ist nicht das nehmliche, nach welchem sie die rothen und gelben, die grünen und blauen Strahlen u. s. w. zerstreuen.

Verbindet man daher zwei Prismen aus verschiedenen Substanzen so mit einander, daß die Zerstreuung der rothen und violetten Strahlen in dem einen durch die in dem anderen aufgehoben wird, so findet diese Aufhebung noch nicht unbedingt auch für die übrigen farbigen Strahlen statt; dieß würde nur der Fall sein, wenn diese beiden Substanzen sämmtliche Strahlengattungen nach gleichen Verhältnissen zerstreuten, was kaum für irgend zwei Substanzen der Fall ist. Es ist daher auch nicht möglich, ein vollkommen achromatisches Prisma herzustellen; man beschränkt sich vielmehr darauf, die Farbenzerstreuungen der äußersten Strahlen, der rothen und violetten, aufzuheben.

Auch der Winkel, unter welchem das Licht auf ein Prisma auffällt, ist nicht ohne Einfluß auf den Achromatismus desselben. Ein Prisma, welches für einen gewissen Einfallswinkel die Farbenzerstreuung sehr gut aufhebt, thut dieß nicht in gleichem Maaße für jeden anderen Einfallswinkel.

F. Von den optischen Erscheinungen, welche durch Interferenz entstehen.

§. 208. Von der Interferenz der Lichtwellen im Allgemeinen.

Im Jahre 1665 machte der Italiener Grimaldi folgende Versuche und Beobachtungen bekannt:

1) Wenn man in ein verfinstertes Zimmer die Sonnenstrahlen durch eine sehr kleine Oeffnung eintreten läßt und dieselben auf einer weißen Fläche auffängt, so erscheint ein rundes Sonnenbild. Der Durchmesser dieses Bildes ist aber größer, als er zu Folge der gradlinigen Fortpflanzung des Lichtes sein sollte; und das im Uebrigen weiße Sonnenbild ist am Rande von schwachen farbigen Ringen eingefaßt. Grimaldi schloß hieraus, daß das Licht bei seinem Vorübergange an den Kanten undurchsichtiger Körper eine Ablenkung von der geraden Linie erleide, und nannte diese Ablenkung, (von welcher in §. 210 noch ausführlicher die Rede sein wird,) Diffraction, wofür man sich gegenwärtig gewöhnlicher der Benennung Beugung oder Inflexion des Lichtes bedient.

2) Grimaldi beobachtete weiter Folgendes: — Läßt man die Sonnenstrahlen durch zwei sehr feine, nahe neben einander angebrachte Oeffnungen hindurchgehen, so entstehen auf einem die eintretenden Lichtkegel durchschneidenden weißen Schirme natürlich zwei Sonnenbilder. Hält man den Schirm so weit von den Oeffnungen entfernt, daß die beiden Bilder zum Theil in einander greifen, so zeigt sich zwar derjenige Theil, welcher beiden Bildern gemeinschaftlich angehört und also von beiden Oeffnungen Licht empfängt, im Allgemeinen stärker erhellt, als die nicht gemeinschaftlichen Theile, auf welche nur die durch die eine oder die andere Oeffnung hindurchgegangenen Strahlen fallen. An den Grenzen des gemeinschaftlichen Theiles jedoch bemerkt man abwechselnd hellere und dunklere Streifen; und obschon diese dunkleren Stellen durch beide Oeffnungen Licht erhalten, erscheinen dieselben doch dunkler, als die nur durch eine Oeffnung erhellten Stellen. Die Abwechselung von helleren und dunkleren Streifen verschwindet, wenn man die eine Oeffnung schließt; man sieht dann nur einen ziemlich gleich stark erhellten rundlichen Fleck.

Grimaldi schloß aus diesen Beobachtungen, daß Licht zu Licht hinzugefügt, sich nicht in allen Fällen verstärkt, sondern unter gewissen, sogleich näher zu erörternden Bedingungen sich auch schwächen kann.

Die angeführten Versuche, welche der Emanationshypothese direkt entgegenstehen, wurden zwar von Newton und anderen Physikern wiederholt; aber erst Young in England (1800) und Fresnel in Frankreich (1815) zeigten, wie dieselben in der Vibrationshypothese ihre befriedigende Erklärung finden.

So wie wir nehmlich früher (§. 182) gesehen haben, daß zwei in der Luft fortschreitende Schallwellen da, wo sie zusammentreffen, sich eben sowohl verstärken, als schwächen können, so muß dieses auch, wenn das Licht durch Wellen fortgepflanzt wird, welche die Schwingungen der kleinsten Theile der leuchtenden Körper im Aether erregen, von den Lichtwellen gelten. Zwei in der nehmlichen Richtung fortschreitende Wellen müssen nehmlich überhaupt beim Zusammentreffen sich dann verstärken, wenn die zusammentreffenden Theile sich in gleichen, sie müssen sich dagegen schwächen oder aufheben, wenn diese Theile sich in entgegengesetzten Schwingungszuständen befinden. So verstärken sich z. B., wie wir schon oben (§. 57, 2) gesehen haben, zwei im Wasser erregte und zu-

sammentreffende Wellen da, wo ihre Wellenberge und ihre Wellenthäler zusammenfallen; sie schwächen sich aber oder heben sich auf, wo der Berg der einen Welle mit dem Thale der andern zusammentrifft.

§. 209. Farben dünner Blättchen.

Unter den auf der Interferenz der Lichtwellen beruhenden Erscheinungen führen wir zunächst die Farbenerscheinungen an, welche sich zeigen, wenn eine durchsichtige Substanz in einer sehr dünnen Schicht vorhanden ist, welche zu beiden Seiten von einem das Licht stärker oder schwächer brechenden Mittel begrenzt wird. Allgemein bekannt ist das schöne Farbenspiel der Seifenblasen, welche von einer dünnen Schicht Seifenwasser eingeschlossen werden, an deren inneren Seite sowohl, als an der äußeren sich Luft befindet. Eben so gehören hierher das bunte Anlaufen des Stahls, wobei sich die Oberfläche desselben mit einer dünnen Oxydschicht bekleidet, die Nobili'schen Farbenringe (§. 147), u. a. m.

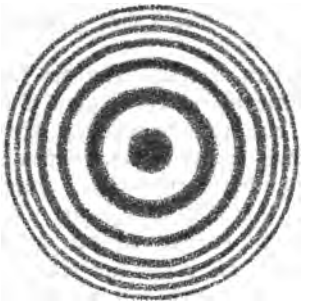
Die hierbei sich zeigenden Farbenerscheinungen werden durch die Interferenz der von der vorderen und hinteren Grenzfläche der dünnen Schicht reflectirten Lichtwellen hervorgerufen. Das auf eine durchsichtige Schicht AABB, Fig. 239, auffallende Licht wird nämlich an der vorderen Fläche AA theils zurückgeworfen, theils durchgelassen. Der in das Innere eintretende Theil erleidet an der hinteren Fläche BB abermals eine Spaltung; ein Theil desselben tritt aus, ein anderer Theil aber wird nach AA zurückgeworfen, wo er sich nochmals theilt, theils zurückgeworfen, theils durchgelassen wird. Diese an der vorderen Fläche AA in der angegebenen Art austretenden Lichtwellen können nun bei ihrem Zusammentreffen mit den von dieser Fläche reflectirten Lichtwellen sich eben so wohl verstärken, als schwächen, je nachdem sich dieselben in gleichen oder in ungleichen Schwingungszuständen befinden. Ob das Eine oder das Andere stattfindet, hängt offenbar von der Länge der Lichtwellen und von der Größe des Weges, welchen die in das Innere der dünnen Schicht eintretenden Wellen innerhalb derselben — bei dem Hingange von der vorderen zur hinteren Fläche und bei dem Rückgange von der hinteren zur vorderen Fläche — zu durchlaufen haben, also von der Dicke der dünnen Schicht ab. Wenn nun für irgend eine Strahlengattung, z. B. für die rothen Strahlen zwischen der Länge der Wellen derselben und der Dicke der dünnen Schicht ein solches Verhältniß stattfindet, daß die von der vorderen und hinteren Fläche der dünnen Schicht reflectirten Wellen bei ihrem Zusammentreffen sich in gleichen Schwingungszuständen befinden, sich also in vollstem Maße verstärken, so wird für die übrigen Strahlengattungen, deren Wellenlänge von der des rothen Lichts verschieden ist, diese Bedingung nicht in gleichem Maße erfüllt sein; dieselben werden sich zum Theil weniger verstärken, zum Theil sogar schwächen oder aufheben, und die dünne Schicht wird sich folglich dem Auge des Beobachters in der Farbe der sich am meisten verstärkenden Lichtwellen zeigen. Die angeführten Verhältnisse und folglich auch die Farbe, in welcher sich die dünne Schicht zeigt, müssen sich ändern, wenn die Dicke der dünnen Schicht eine Aenderung erleidet, wie sich dieß so schön bei den Seifenblasen zeigt, bei denen die Dicke der dünnen

(Fig. 239.)

Schicht von Seifenwasser, welche dieselben einhüllt, bei fortgesetztem Blasen sich immer mehr vermindert, und immer andere Farben hervortreten.

Am gründlichsten lassen sich die Erscheinungen der Farben dünner Blättchen nach dem von Newton angewendeten Verfahren, welches zugleich genaue Abmessungen gestattet, beobachten. Dieses Verfahren besteht im Wesentlichen in Folgendem: Wenn man eine convexe Linse von sehr schwacher Krümmung auf eine möglichst ebene Glasplatte legt und beide Gläser etwas an einander preßt, so sieht man im reflectirten Tageslichte da, wo sich beide Gläser berühren, einen dunkelen Fleck, welcher von regenbogenfarbigen Ringen umgeben ist. Diese Ringe sind um so größer und zeigen sich um so deutlicher, je schwächer die convexe Linse gekrümmt ist. Newton wandte eine Linse an, deren Krümmungshalbmesser über 50 Fuß betrug. Dieselben Ringe zeigen sich jedoch auch bei Anwendung einer kleineren Linse, z. B. eines convexen Brillenglases; sie sind aber dann sehr schmal und werden deutlicher wahrgenommen, wenn man dieselben durch eine Lupe betrachtet. Beobachtet man die Erscheinung nicht im zusammengesetzten weißen, sondern im einfarbigen Lichte, so erscheint auch jetzt in der Mitte ein dunkeler Fleck, welcher von abwechselnden hellen und dunkelen Ringen umgeben ist, Fig. 240. Diese Ringe nehmen, je weiter sie sich von der Mitte entfernen, an Breite und Helligkeit rasch ab, bis sie endlich ganz verschwinden. Die Breiten und Durchmesser sind für verschiedene Farben verschieden; sie sind am größten im rothen, am kleinsten im violetten Lichte, wonach man leicht begreift, daß im zusammengesetzten weißen Lichte diejenigen Stellen, welche im einfarbigen Lichte dunkel erscheinen, von den hellen Ringen anderer Farben eingenommen werden, und daß die verschiedenfarbigen Ringe zum Theil in einander eingreifen und sich vermischen müssen.

(Fig. 240.)



Ist AB, Fig. 241, ein Durchschnitt der gekrümmten, CD ein Durchschnitt der ebenen Glasfläche, so begreift man leicht, daß sich für jeden hellen oder dunkelen Ring, wie er sich im einfarbigen, z. B. im rothen Lichte, zeigt, aus der abgemessenen Größe seines Durchmessers oder Halbmessers, z. B. aus der Größe von 04, und aus der bekannten Größe des Radius der Kugelfläche, von welcher AB ein Theil ist, die Dicke 44′, welche die beide Gläser trennende Luftschichte an der Stelle hat, an welcher der Ring erscheint, berechnen läßt. Indem nun Newton diese Abmessungen und Rechnungen mit großer Sorgfalt ausführte, entdeckte er folgende Gesetze:

(Fig. 241.)

1) Für die Mitten der dunkelen Ringe verhalten sich im einfarbigen Lichte die Dicken der beide Gläser trennenden Luftschicht wie die geraden Zahlen 2, 4, 6 . . .,

2) für die Mitten der hellen Ringe aber, wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 . . .

In Figur 241 bezeichnen also 0, 2, 4 . . . solche Stellen, welche im einfarbigen Lichte am dunkelsten, und 1, 3, 5 . . . solche Stellen, welche am hellsten erscheinen.

Die nehmlichen Gesetze gelten auch dann noch, wenn zwischen den beiden Gläsern sich nicht Luft, sondern irgend eine andere durchsichtige Substanz, z. B. Wasser, befindet. Sämmtliche helle und dunkele Ringe sind jedoch jetzt etwas schmaler, und wenn aus den Durchmessern derselben die verschiedenen Dicken 11′, 22′, 33′ . . . der beide Gläser trennenden Wasserschicht abgeleitet werden, so findet man, daß sich dieselben zu den vorhin erhaltenen Werthen, als sich Luft zwischen beiden Gläsern befand, wie 3 : 4, d. h. (zu Folge §. 197) wie die Geschwindigkeiten des Lichtes oder, was dasselbe sagen will, wie die Längen der Lichtwellen im Wasser und in der Luft verhalten. Die angeführten Erscheinungen lassen sich nun eben so einfach, als vollständig nach der Vibrationshypo-

theſe erklären, wenn wir noch den folgenden, zuerſt von Young aufgeſtellten Satz vorausſchicken: Wenn eine Lichtwelle in einem ſtärker brechenden Mittel von der Grenzfläche, welche daſſelbe von einem ſchwächer brechenden Mittel ſcheidet, zurückgeworfen wird, ſo wird dieſelbe während der Reflexion gleichſam um eine halbe Wellenlänge verzögert, ſo daß ſie in dem Moment, in welchem ſie die reflectirende Fläche verläßt und in das dichtere Mittel zurückkehrt, ſich gerade in dem entgegengeſetzten Schwingungszuſtande von demjenigen befindet, mit welchem ſie an der reflectirenden Fläche ankam. Zu Folge dieſes Satzes, welchen auch theoretiſche Gründe, auf die wir jedoch hier nicht näher eingehen können, beſtätigen, müſſen die von der vorderen und hinteren Fläche der beide Gläſer trennenden Luft- oder Waſſerſchicht reflectirten Lichtwellen, ſich in entgegengeſetzten Schwingungszuſtänden befinden, wenn ihre Wege ſich um 1, 2, 3 . . . ganze Wellenlängen unterſcheiden. Die Differenz dieſer Wege iſt aber, da die von der hinteren Fläche reflectirten Lichtwellen die beide Gläſer trennende dünne Schicht ſowohl vorwärts, als rückwärts, alſo doppelt zu durchlaufen haben, der doppelten Dicke dieſer Schicht gleich. Es muß daher die gegenſeitige Schwächung oder Aufhebung der von der vorderen und hinteren Fläche reflectirten Lichtwellen da eintreten, wo die Dicke der dünnen Schicht 1, 2, 3 . . . halbe oder, was daſſelbe ſagen will, 2, 4, 6 . . . Viertel Wellenlängen beträgt, was genau mit dem erſten Newton'ſchen Geſetze übereinſtimmt. Eben ſo ſieht man leicht ein, daß, übereinſtimmend mit dem zweiten Geſetze, die größte Verſtärkung da ſtattfinden muß, wo die Dicke der dünnen Schicht 1, 3, 5 . . . Viertellängen beträgt, und daß für verſchiedene durchſichtige Subſtanzen das Verhältniß dieſer Dicken dem Verhältniß der Wellenlängen, alſo z. B. für Luft und Waſſer gleich 4 : 3 ſein muß. Da ferner nach der Vibrationshypotheſe die verſchiedenfarbigen Strahlen eine ungleiche Wellenlänge, die rothen Strahlen die größte, die violetten die kleinſte Wellenlänge haben, ſo erklärt ſich hieraus auch, warum im rothen Lichte die hellen und dunkelen Ringe die größte, im violetten aber die kleinſte Breite haben u. ſ. w.

Werden die beiden Gläſer an einander gepreßt, ſo erſcheint, wie oben bemerkt, in der Mitte ein dunkeler Fleck, indem die Gläſer hier gleichſam ein Ganzes bilden und das Licht nicht reflectirt, ſondern durchgelaſſen wird. Die Mitte erſcheint dagegen, wie Wilde in Berlin gezeigt hat, hell, wenn die Gläſer ſich nur berühren, indem dann an der zweiten Fläche keine Reflexion ſtattfindet.

Das Vorhergehende betraf nur die Farbenerſcheinungen dünner Schichten durchſichtiger Subſtanzen, wie ſie ſich im reflectirten Lichte zeigen; ähnliche, aber ſchwächere Farbenerſcheinungen werden auch im durchgelaſſenen Lichte wahrgenommen. Die Farben, welche man hierbei beobachtet, ſind die complementären von denjenigen, welche ſich unter gleichen Bedingungen im reflectirten Lichte zeigen, und diejenigen Stellen, welche bei Anwendung einfarbigen Lichtes in dem einen Falle hell erſcheinen, zeigen ſich im anderen als dunkel. — Dieſe Erſcheinungen geſchehen durch die Interferenz der direct hindurchgehenden Strahlen mit denjenigen, welche zuerſt an der hinteren und dann an der vorderen Fläche der dünnen durchſichtigen Schicht eine Reflexion erfahren haben. Sie ſind darum nur ſchwach, weil dieſe Strahlen eine ſehr ungleiche Intenſität beſitzen und ſich daher nur unvollſtändig interferiren können.

Weiter haben wir noch die Frage zu beantworten, warum nur bei dünnen Blättchen, nicht auch bei dickeren Platten durch die Interferenz der von der vorderen und hinteren Fläche reflectirten Lichtwellen Farbenerſcheinungen hervorgerufen werden. Der Grund iſt folgender: Wie wir im Vorhergehenden geſehen haben, wird der Schwingungszuſtand, in welchem die von der hinteren Seite des Blättchens AABB, Fig. 239, zurückgeworfene Lichtwelle aus demſelben austritt, durch die Größe des Weges, welchen dieſe Lichtwelle innerhalb des dünnen Blättchens zurückgelegt hat, beſtimmt. Die Größe dieſes Weges hängt aber offenbar von dem Winkel, unter welchem die Lichtſtrahlen einfallen, und von der Dicke der dünnen Schicht AABB ab. Denken wir uns nun, daß mehrere Strahlen die nehmliche Stelle unter wenig von einander abweichenden Winkeln treffen, ſo werden die etwas ſchiefer auffallenden Strahlen auch einen etwas größeren Weg, als die weniger ſchief auffallenden Strahlen innerhalb der dünnen Schicht zurücklegen. Iſt nun die Schicht AABB ſehr dünn, ſo ſind dieſe Wege nur klein und können ſich folglich auch nur um ein Geringes von einander unterſcheiden. Es werden daher ſämmtliche Lichtwellen in nahe gleichen Schwingungszuſtänden an der vorderen Seite AA austreten und folglich auch die nehmliche Interferenzerſcheinung bewirken, alſo in einem Auge, welches von demſelben getroffen wird, den Eindruck derſelben Farbe hervorrufen. Denken wir uns alle übrigen Umſtände unverändert bleibend, aber die Schicht AABB zehn- oder hundertmal dicker, ſo werden auch die beſprochenen Wege innerhalb derſelben

zehn- oder hundertmal größer; es wird daher auch ihre Differenz sich um das Zehn- oder Hundertfache vergrößern, und es werden folglich die an der vorderen Fläche AA austretenden Lichtwellen sich nicht mehr in nahe gleichen, sondern in verschiedenen Schwingungszuständen befinden und zwar offenbar um so mehr, je größer die Dicke der Schicht AABB ist. Ist daher die Dicke dieser Schicht beträchtlich, so wird das Auge von der nehmlichen Stelle nicht mehr den Eindruck einer einzelnen, sondern aller möglichen Farben erhalten und folglich dieselbe im weißen Lichte erblicken.

Endlich führen wir noch an, daß die Erscheinungen der Newton'schen Farbenringe zu Folge der obigen Entwicklung auch ein Mittel darbieten, die absolute Größe der Wellenlängen für die verschiedenfarbigen Strahlen zu bestimmen. Ist aber für eine Strahlengattung die Wellenlänge λ bekannt, so läßt sich hieraus und aus der bekannten Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes im Aether (42,000 Meilen), welche wir mit a bezeichnen wollen, auch die Schwingungszahl n leicht finden. Es ist nehmlich nach dem Gesetze, welches wir oben §. 176 in Hinsicht der Schallwellen kennen gelernt haben, und welches eben so auch für die Lichtwellen gilt,

$$a = n\,\lambda, \text{ also } n = \frac{a}{\lambda}.$$

Aus den schon von Newton und später von Frauenhofer nach einer anderen Methode (vergl. den folg. §.) und mit der größten Schärfe ausgeführten Messungen ergeben sich für die Hauptstrahlengattungen die in der folgenden Tabelle enthaltenen Zahlen.

Farbe.	Wellenlänge in Millionteln des Par. Zolles.	Schwingungszahl.
Roth	25,41	451 Billionen
Orange	24,25	472 "
Gelb	21,75	527 "
Grün	17,89	640 "
Blau	15,85	723 "
Violett	14,51	790 "

Während die Schwingungszahl des höchsten wahrnehmbaren Tones die des tiefsten mehrere tausendmal (vergl. oben §. 166) übertrifft, stehen diese Zahlen für das am meisten und am wenigsten brechbare Licht nur etwa in dem Verhältnisse 7 zu 4. Diejenigen Wellen, deren Schwingungszahlen außerhalb dieser Grenzen fallen, vermögen auf der Netzhaut nicht mehr die Empfindung des Lichtes hervorzurufen, sondern offenbaren sich nur noch durch ihre erwärmenden und chemischen Eigenschaften. (Vergl. unten §. 214 u. 251.)

*§. 210. Beugung oder Inflexion des Lichtes.

Wir haben schon oben (in §. 208) gesehen, wie die Erscheinungen der Beugung zuerst von Grimaldi beobachtet worden sind. Ein noch zweckmäßigeres Verfahren besteht darin, daß man die durch eine enge Oeffnung in ein verfinstertes Zimmer eintretenden Sonnenstrahlen in der Entfernung von einigen Fußen auf eine Metallplatte fallen läßt, in welcher sich ein sehr feiner Spalt befindet, und die durch den Spalt hindurchgegangenen Strahlen mit einem weißen Schirme (oder noch besser mit einer matt geschliffenen Glasscheibe) auffängt. Man erblickt dann auf dem Schirme einen dem Spalte parallelen hellen Streifen und neben demselben zu beiden Seiten mehrere regenbogenfarbige Streifen.

Die nehmlichen Streifen beobachtet man auch, wenn man einen leuchtenden Punkt, z. B. das Bild der Sonne, in einem gut polirten convexen Metallknopfe durch einen feinen Spalt in einem dünnen Metallblättchen betrachtet*).

*) Man klebt zu diesem Zwecke ein Staniolblättchen auf einen Ring, dessen innerer Durchmesser etwa zwei Linien beträgt, und macht mit der Spitze eines scharfen Federmessers oder mit einem Rasirmesser einen feinen Einschnitt in das Staniolblättchen.

Beobachtet man die Erscheinung nicht im zusammengesetzten weißen, sondern im einfarbigen, z. B. rothen Lichte, indem man die Sonnenstrahlen, bevor sie auf das Metallblättchen fallen, durch ein tief roth gefärbtes Glas hindurchgehen läßt, oder indem man ein solches Glas vor das Auge hält, so bemerkt man nur abwechselnd hellere rothe und dunklere Streifen, wie dieses ohngefähr Fig. 242 zeigt. Die Streifen werden um so schmaler und schwächer, je weiter sie sich von der Mitte entfernen. — Dieselbe Erscheinung findet im Wesentlichen statt, wenn man irgend eine andere Strahlengattung anwendet; nur haben die hellen und dunklen Streifen für verschiedene Farben eine verschiedene Breite; sie sind am schmalsten im violetten, am breitesten im rothen Lichte. Da hiernach die hellen Streifen für verschiedene Farben an verschiedene Stellen fallen, so sieht man leicht ein, daß im zusammengesetzten weißen Lichte die hellen Streifen der verschiedenen Strahlengattungen zum Theil neben einander zu liegen kommen, zum Theil in einander eingreifen und sich vermischen müssen, weßhalb die dunkeln Zwischenräume hier gänzlich fehlen.

(Fig. 242).

Diese Erscheinungen werden nach der Vibrationshypothese im Wesentlichen in folgender Art erklärt: — Indem eine Lichtwelle auf eine kleine Oeffnung oder auf einen feinen Spalt trifft, erschüttert sie die hier befindlichen Aethertheilchen, und indem diese ihre Erschütterung den benachbarten Aethertheilchen mittheilen, erzeugen sie eben so viele neue, sich um dieselben als Mittelpunkte ausbreitende Aetherwellen, welche zu Folge des Interferenzgesetzes sich nicht bloß verstärken, sondern auch aufheben und schwächen können, je nachdem sie beim Zusammentreffen sich in gleichen oder entgegengesetzten Schwingungszuständen befinden, wodurch in den oben angeführten Versuchen bei Anwendung einfarbigen Lichtes die abwechselnden hellen und dunklen Streifen entstehen, welche für verschiedene Farben eine ungleiche Breite, im rothen Lichte die größte, im violetten die kleinste Breite haben, weil den Wellen des rothen Lichtes die größte, denen des violetten Lichtes die kleinste Länge zukommt.

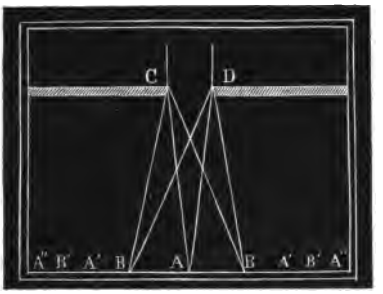
Zu den auf der Beugung des Lichtes beruhenden Erscheinungen gehören: die Farben, welche man bemerkt, wenn man durch den Bart einer feinen Feder, durch die Haare eines Hutes, durch die Haare der Augenwimpern bei nahe geschlossenen Augen, durch fein gewebte Zeuge oder Bänder nach einer Lichtflamme oder nach der Sonne sieht. Auch das Farbenspiel, welches die Flügel mancher Insecten, die Perlmutter, manche Seidenzeuge, abgestandene Gläser u. dgl. m. im reflektirten Lichte zeigen, entsteht durch die Interferenz der Lichtstrahlen. Brewster fand in Hinsicht der Perlmutter, daß die Oberfläche derselben von sehr vielen feinen Furchen durchzogen ist. Indem er Blättchen von Perlmutter auf Siegellack oder einen andern weichen Körper abdruckte, erhielt dieses dieselbe irisirende Eigenschaft, wie die Perlmutter.

Auch die beim Beobachten eines fernen, hellleuchtenden Punktes erscheinenden Strahlen beruhen wahrscheinlich auf der Beugung, welche das Licht im Innern des Auges durch die feinen die durchsichtigen Substanzen des Auges durchziehenden Aederchen u. dgl. erfährt.

Die ausführliche Erklärung der oben angeführten Beugungsphänomene ist folgende: — Wenn eine Lichtwelle auf eine sehr kleine Oeffnung oder einen feinen Spalt CD (Fig. 243) trifft, so setzt sie die hier befindlichen Aethertheilchen in Schwingungen, und indem diese ihre schwingende Bewegung den benachbarten Aether-

theilchen mittheilen, entsteht ein System von Wellen (Elementarwellen), welche ihre Mittelpunkte in den zwischen C und D liegenden Aethertheilchen haben. Ist nun A ein von C und D gleich weit abstehender Punkt einer der Oeffnung gegenüberliegenden Wand und von dieser in Vergleich mit dem sehr kleinen angenommenen Durchmesser der Oeffnung weit entfernt, so daß wir die Randstrahlen AC und AD nahe als parallel ansehen können, so werden sämmtliche Elementarwellen bei ihrem Zusammentreffen in A nahe gleiche Wege durchlaufen haben, sich also in gleichem Schwingungszustande befinden und folglich verstärken. Es wird daher in A der Oeffnung CD gerade gegenüber ein heller Punkt erscheinen.

(Fig. 243.)



Es sei ferner B ein Punkt der Wand, dessen Entfernungen von C und D sich um eine ganze Wellenlänge unterscheiden; bezeichnen wir dann die Mitte der Oeffnung in Gedanken mit M, so wird die Linie BC die Linie BM, und BM die Linie BD (sehr nahe) um eine halbe Wellenlänge übertreffen. Wenn wir nun die zwischen C und M liegenden Aethertheilchen, welche die Mittelpunkte von Elementarwellen bilden, mit a_1, a_2, a_3 u. s. w. und eben so die zwischen M und D liegenden Aethertheilchen mit b_1, b_2, b_3 u. s. w. bezeichnen, so werden die von a_1 und b_1 ausgegangenen Elementarwellen sich bei ihrer Ankunft in B (sehr nahe) um eine halbe Wellenlänge unterscheiden und also in entgegengesetzten Schwingungszuständen befinden; sie werden sich daher gegenseitig schwächen oder aufheben. Dasselbe wird eben so von den Aethertheilchen a_2 und b_2 und den von ihnen ausgegangenen Elementarwellen, ferner von a_3 und b_3 u. s. w. gelten. Da hiernach die von den Aethertheilchen der einen Hälfte CM ausgegangenen Elementarwellen sich mit den von der anderen Hälfte MD entsprungenen, wenn nicht ganz aufheben, doch sich gegenseitig schwächen, so wird in B ein dunkeler Punkt erscheinen.

Es sei ferner A′ ein Punkt der Wand, dessen Abstände von C und D sich um drei halbe Wellenlängen unterscheiden. Denken wir uns jetzt CD in drei gleiche Theile getheilt, so folgt durch eine der vorhergehenden ganz ähnliche Ueberlegung, daß die aus den Aethertheilchen des ersten Drittels entsprungenen Elementarwellen sich mit denen des zweiten Drittels aufheben oder sich gegenseitig schwächen. Es wird daher in A′ nur noch die Wirkung der von den Aethertheilchen des dritten Drittels entsprungenen Elementarwellen übrig bleiben, und folglich in A′ ein heller, aber bei Weitem schwächer erleuchteter Punkt, als in A erscheinen.

Ist ferner B′ ein Punkt der Wand, dessen Abstände von C und D sich um vier halbe oder zwei ganze Wellenlängen unterscheiden, so wollen wir uns CD in vier gleiche Theile getheilt denken. Dann erkennen wir zu Folge der vorhergehenden Auseinandersetzung leicht, daß die Elementarwellen des ersten und zweiten Viertels und eben so die des dritten und vierten Viertels sich gegenseitig schwächen oder aufheben, und daß also in B′ ein dunkeler Punkt erscheinen muß.

Eben so läßt sich weiter zeigen, daß ein Punkt, dessen Abstände von C und D sich um fünf halbe Wellenlängen unterscheiden, hell, und ein Punkt, dessen Abstände von C und D sich um sechs halbe oder drei ganze Wellenlängen unterscheiden, dunkel erscheinen muß u. s. w.

Bisher haben wir nur einzelne, bestimmte Punkte der Wand betrachtet, welche die durch die schmale Oeffnung hindurchgegangenen Lichtstrahlen auffängt. Man sieht indeß leicht ein, daß für eine z. B. zwischen A und B liegende Stelle ein überwiegendes Verstärken oder Schwächen der an dieser Stelle zusammentreffenden Elementarwellen um so mehr stattfinden muß, je näher dieselbe an A oder B liegt, und daß daher die Erleuchtung der Wand von A bis B allmählig abnehmen, dann von B bis A′ wieder zunehmen muß u. s. w., wonach denn auf der Wand abwechselnd helle und dunkele Streifen erscheinen müssen.

Weiter geht aus der obigen Entwickelung hervor, daß die Punkte A, B, A′, B′ . . . unter übrigens gleichen Umständen um so näher an einander rücken müssen, die hellen und dunkelen Streifen also um so schmaler werden, je größer die Breite der

Oeffnung ist. Bei beträchtlich breiten Oeffnungen werden daher diese Streifen allzu schmal, um noch vom Auge unterschieden zu werden; die Lichteindrücke vermischen sich.

Ferner folgt aus dem Vorhergehenden, daß die Punkte A, B, A', B' . . . um so weiter auseinander rücken, also die abwechselnd hellen und dunkelen Streifen um so breiter werden, je größer die Länge der Wellen des diese Streifen erzeugenden Lichtes ist. Sie müssen folglich im rothen Lichte am breitesten, im violetten am schmalsten sein, was auch die Erfahrung vollkommen bestätigt.

Da hiernach für verschiedenfarbige Strahlen, d. h. für Strahlen von ungleicher Wellenlänge die hellen Streifen an verschiedene Stellen fallen, so folgt hieraus, daß im zusammengesetzten weißen Lichte in der Mitte A, Fig. 243, alle farbigen Strahlen sich verstärken, zu beiden Seiten von der Mitte aber die hellen Streifen der einen Strahlengattung zum Theil in die dunkelen Stellen der anderen fallen und zum Theil die verschiedenfarbigen Streifen in einander eingreifen müssen. Es zeigt sich daher bei weißem Lichte in der Mitte ein weißer zu beiden Seiten von farbigen Säumen eingefaßter Streifen.

Wie aus der vorstehenden Entwickelung hervorgeht, bieten die Erscheinungen der Beugung zugleich ein Mittel dar, die absolute Größe der Lichtwellen abzumessen, wozu sie von verschiedenen Physikern, insbesondere von Frauenhofer (vergl. den vorherg. §.) benutzt worden sind.

Im Vorhergehenden haben wir nur diejenigen Erscheinungen näher erörtert, welche durch die Beugung des Lichtes an den Rändern einer sehr kleinen Oeffnung oder schmalen Spalte entstehen. Aehnliche Erscheinungen werden jedoch auch durch die Beugung, welche das Licht an den Rändern eines einzigen sehr schmalen Körpers erleidet, hervorgebracht, wie schon Grimaldi 1665 beobachtet hat. Derselbe bemerkte nehmlich, als er in den Lichtkegel, welchen das durch eine kleine Oeffnung in ein verfinstertes Zimmer einfallende Sonnenlicht bildete, einen sehr schmalen Körper, z. B. einen feinen Metalldraht, brachte, und den Schatten desselben auf einem weißen Schirme auffing, sowohl im Innern, als auch zu beiden Seiten des Schattens farbige Streifen, welche sämmtlich verschwinden, wenn man an den schmalen Körper an einer Seite eine breite Platte ansetzt.

Diese Beugungs-Erscheinungen erklären sich noch einfacher, als die oben für feine Spalten angegebenen; denn denkt man sich auf den schmalen Körper einfaches Licht auffallend, so begreift man sogleich, daß die von den Rändern ausgegangenen Elementarwellen an solchen Stellen, welche von beiden Rändern gleich weit abstehen, oder deren Abstände sich um 2, 4, 6 . . . halbe Wellenlängen unterscheiden, sich verstärken, an solchen Stellen aber, deren Entfernungen von den Rändern des schmalen Körpers um 1, 3, 5 . . . halbe Wellenlängen unterschieden sind, schwächen oder aufheben müssen, was auch die Beobachtung vollkommen bestätigt.

Sehr schöne, aber verwickeltere Erscheinungen der Beugung werden erhalten, wenn man das Licht durch mehrere nahe neben einander liegende feine Spalten, z. B. durch ein Glas, in welches dicht neben einander parallele feine Linien eingeätzt sind, oder durch ein enges Gitter oder durch mehrere hinter einander liegende Oeffnungen gehen läßt. Diese Erscheinungen sind zuerst von Frauenhofer und Herschel näher untersucht und besonders durch Schwerd (1835) vollständig aus dem Interferenzgesetze erklärt worden.

Am schönsten zeigen sich die Beugungserscheinungen nach der zuerst von Frauenhofer angewendeten Methode, daß man die das Licht beugende Oeffnung unmittelbar vor das Object eines Fernrohres bringt, welches man so weit ausgezogen hat, daß der leuchtende Punkt, von welchem die Lichtstrahlen auf die Oeffnung fallen, in dem Fernrohre deutlich gesehen wird. Ein intensives, nahe in einen Punkt concentrirtes Licht erhält man dadurch, daß man die Sonnenstrahlen in dem Brennraume einer Linse von kurzer Brennweite concentrirt.

*§. 211. Höfe um Sonne und Mond.

Wenn die Atmosphäre mit Dünsten angefüllt ist, oder wenn vor dem Monde dünne Wolken vorüberziehen, sieht man denselben häufig von farbigen Ringen umgeben, deren innerster sich unmittelbar an den Mond anschließt, und deren äußerster nur einen Durchmesser von wenigen Graden hat. Man bemerkt diese Höfe auch zuweilen um die Sonne, aber wegen des allzu blendenden Lichtes derselben bei weitem seltener, als um den Mond. Man erklärt diese Erscheinung durch die Beugung, welche die Strahlen des Mondes oder der Sonne an den in der Atmosphäre schwebenden Dunstkügelchen er-

leiden. Wenn man eine Glasscheibe schwach anhaucht und durch dieselbe den Mond oder eine Lichtflamme betrachtet, so sieht man den Mond oder die Lichtflamme von ganz ähnlichen farbigen Ringen umgeben.

Zuweilen sieht man auch bei nicht dunstfreier Atmosphäre die Sonne oder den Mond von einem größeren hellen Ringe umgeben, dessen Durchmesser ohngefähr 45^0 beträgt, und außer diesem zeigt sich wohl noch ein zweiter Ring von etwa doppelt so großem Durchmesser. Man sieht diese Erscheinung als die Wirkung einer Brechung an, welche die Lichtstrahlen in den feinen Eisnadeln erleiden, welche in den höheren Luftschichten schweben, deren Temperatur unter dem Eispunkte ist. Wir können jedoch auf eine ausführliche Mittheilung dieser Erklärung hier nicht eingehen, da dieselbe mit bedeutenden Schwierigkeiten verbunden ist.

Aehnliches gilt auch von der Erklärung der sogenannten **Nebensonnen** und **Nebenmonde**, welche man bei großer Kälte zuweilen bei dem Aufgange oder Untergange dieser Gestirne zu beiden Seiten in gleicher Höhe oder auch senkrecht über denselben auf dem Umfange eines weißen hellen Kreises bemerkt. Man sieht diese Erscheinung ebenfalls als eine Wirkung der in der Atmosphäre schwebenden feinen Eisnadeln an und sucht dieselbe theils aus der Reflexion, welche die Lichtstrahlen an der Oberfläche der Eisnadeln erleiden, theils durch Brechung zu erklären.

Ehe wir von den Erscheinungen, welche aus der Interferenz der Lichtwellen hervorgehen, ganz abbrechen, führen wir noch die folgenden von **Hanke** (1857) angestellten Beobachtungen an, deren Erklärung sich wesentlich auf die durch die vorhergehenden Untersuchungen ermittelte Verschiedenheit in der Größe der das meiste Licht zusammensetzenden verschiedenfarbigen Lichtwellen gründet. Wenn man das Licht der Sonne oder einer hell leuchtenden Flamme auf ein mattgeschliffenes Glas unter einem sehr schiefen Winkel auffallen läßt, so erscheint auf einer gegenüberstehenden Wand ein rothgefärbtes Spiegelbild, dessen Färbung, wenn man den Einfallswinkel der Lichtstrahlen durch Drehung des mattgeschliffenen Glases allmählig vermindert, durch Orange und Gelb in Weiß übergeht. Diese Erscheinung beruht ohne Zweifel darauf, daß bei sehr schiefem Auffallen der Lichtstrahlen überwiegend die Strahlen des rothen Lichtes, welche die größte Wellenlänge haben, von der Erhabenheit des mattgeschliffenen Glases zurückgeworfen werden, während die kleinen Wellen der übrigen farbigen Strahlen, so zu sagen, noch zwischen die Erhöhungen und Vertiefungen hineinfallen. Aehnliche Erscheinungen zeigen sich auch im durchgelassenen Lichte. Wenn man die Flamme einer Argand'schen Lampe durch ein matt geschliffenes Glas von sehr feinem Schliff, welches von der Flamme etwa 3 Fuß entfernt ist, betrachtet, so zeigt dieselbe eine entschieden rothe Färbung. Auch diese Erscheinung erklärt sich daraus, daß die längeren rothen Wellen durch die Rauhigkeit des matt geschliffenen Glases weniger am regelmäßigen Durchgange, als die kürzeren Wellen der übrigen farbigen Strahlen gestört werden.

Auf ähnlichem Grunde dürfte auch die rothe Färbung beruhen, welche Sonne und Mond beim Auf- und Untergange zeigen, indem hier die in der Atmosphäre schwebenden Dunst- und Staubtheilchen die Stelle der Unregelmäßigkeiten des matt geschliffenen Glases vertreten.

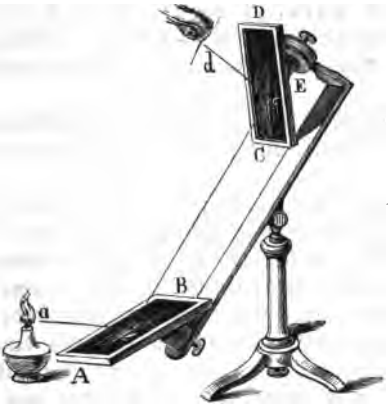
G. Von der Polarisation und der doppelten Brechung des Lichtes.

*§. 212. Polarisirung durch Zurückwerfung.

Wenn ein Lichtstrahl ab, Fig. 244, unter irgend einem Winkel auf eine Glasplatte AB auffällt, so wird er bekanntlich zum Theil durchgelassen, zum Theil zurückgeworfen. Beträgt der Neigungswinkel abA, welchen der einfallende Strahl ab mit der reflectirenden Spiegelfläche bildet, 33^0, so unterscheidet sich der reflectirte Strahl bc in gewissen, sogleich näher zu bezeichnenden Eigenschaften von einem gewöhnlichen Lichtstrahle und heißt **polarisirt**. Fällt nehmlich dieser Strahl auf eine zweite Glasplatte CD, so

wird er am vollständigsten zurückgeworfen und am wenigsten hindurchgelassen, wenn die durch den einfallenden Strahl ab und den reflectirten Strahl bc gelegte Einfallsebene, welche bekanntlich auf der Spiegelfläche AB senkrecht ist, auch auf der zweiten Spiegelfläche CD senkrecht steht, und folglich der von dieser reflectirte Strahl cd mit ab und bc in der nehmlichen Ebene liegt, also zunächst, wenn beide Spiegel die in der Figur abgebildete Stellung haben, und dann ferner, wenn die Ebenen beider Spiegel einander parallel sind. — Wird der zweite Spiegel CD, welcher mit seiner Rückseite an einer drehbaren Walze E so befestigt ist, daß er mit der Axe derselben einen Winkel von 33° bildet, durch Umdrehung der Walze E in andere Stellungen geführt, so behält zwar der Winkel, unter welchem der polarisirte Strahl bc die Spiegelfläche CD trifft, fortwährend dieselbe Größe von 33° bei, die Intensität des reflectirten Strahles cd nimmt aber während der Drehung immer mehr ab, und derselbe verschwindet fast gänzlich, wenn die Umdrehung 90° erreicht hat. Fährt man fort zu drehen, so nimmt die Intensität des reflectirten Strahles wieder zu und erreicht bei 180° abermals ein Maximum. Dreht man dann noch weiter von 180° bis 270°, von 270° bis 360°, so kehren dieselben Erscheinungen wieder, welche wir soeben für die Umdrehungen der Glasplatte CD von 0° bis 90° und von 90° bis 180° beschrieben haben. Das reflectirte Licht erreicht also bei einer vollständigen Umdrehung der Glasplatte CD um 360° zweimal ein Maximum, bei 0° und bei 180°, und zweimal ein Minimum, bei 90° und bei 270°.

(Fig. 244.)



Gewöhnlich wendet man zu den Versuchen über die Polarisation des Lichtes Platten von Spiegelglas an, welche man zur Abhaltung fremdartigen Lichtes an der Rückseite geschwärzt hat. Auf den Spiegel AB läßt man entweder das Licht einer kleinen Lichtflamme, welche in solcher Richtung und Entfernung von demselben aufgestellt ist, daß die auffallenden Strahlen mit der Spiegelfläche AB nahe einen Winkel von 33° bilden (also beträchtlich weiter, als die Figur dieß darstellt), oder das Licht der Wolken auffallen. In dem letzteren Falle bringt man zwischen beiden Spiegeln einen Schirm mit einer kleinen Oeffnung an, so daß nur die unter dem Winkel von 33° von dem Spiegel AB reflectirten Strahlen auf den Spiegel CD gelangen können. Der Spiegel AB, auf welchen das Licht zuerst auffällt, und von dem es als polarisirt zurückgeworfen wird, heißt der Polarisationsspiegel, der andere Spiegel CD, welcher das durch den ersten polarisirte Licht auffängt, der Zerlegungsspiegel.

Bei der in der Figur abgebildeten Stellung der beiden Spiegel AB und CD erblickt ein in der Richtung der reflectirten Strahlen cd befindliches Auge das Gesichtsfeld in dem Spiegel CD erhellt. Dasselbe ist der Fall, wenn

der Spiegel CD um 180° gedreht worden, also mit AB parallel ist. Das Gesichtsfeld dagegen erscheint dunkel nach der Umdrehung um 90° oder 270°.

Man kann dieses Gesetz auch so ausdrücken: Das Gesichtsfeld erscheint hell, wenn die Reflexionsebenen des Polarisations- und des Zerlegungsspiegels einander parallel sind; es erscheint dunkel, wenn diese Ebenen auf einander senkrecht stehen. — Man nennt nehmlich Reflexionsebene die durch den reflectirten Strahl senkrecht zur reflectirenden Fläche gelegte Ebene.

Eine durch einen polarisirten Lichtstrahl in der Richtung gelegte Ebene, in welcher derselbe am vollständigsten reflectirt wird, wird die Polarisationsebene desselben genannt.

Man unterscheidet vollständig und unvollständig polarisirtes Licht. Wenn ein vollständig polarisirter Lichtstrahl unter einem Winkel von 33° auf eine Glasplatte fällt, welche in der oben angegebenen Art um 360° gedreht wird, so verschwindet der reflectirte Strahl zweimal gänzlich. Bei einem unvollständig polarisirten Lichtstrahle dagegen findet während einer ganzen Umdrehung des Zerlegungsspiegels zwar ebenfalls eine wechselnde Zu- und Abnahme des reflectirten Theiles statt, jedoch ohne daß derselbe gänzlich verschwindet, welches auch immer der Winkel sein mag, welchen der einfallende Strahl mit der reflectirenden Glasplatte bildet. — Ein gewöhnlicher Lichtstrahl unterscheidet sich von einem (vollständig oder unvollständig) polarisirten Strahle darin, daß, wenn derselbe auf eine spiegelnde Fläche unter irgend einem Winkel auffällt, die Intensität des reflectirten Strahles unverändert dieselbe bleibt, wenn man die reflectirende Fläche so um eine Axe dreht, daß sie mit dem einfallenden Strahle beständig den nehmlichen Winkel bildet.

Ein Lichtstrahl wird vollständig polarisirt, wenn er von einer Glasplatte unter einem Winkel von (ohngefähr) 33° reflectirt wird. Er wird unvollständig polarisirt, wenn diese Zurückwerfung unter einem anderen Winkel geschieht.

Auch andere Substanzen, als Glas, die Oberfläche des Wassers, Oeles, polirtes Holz, überhaupt fast alle glatten und polirten Flächen, können als Polarisationsspiegel dienen. Metallspiegel dagegen sind für diesen Zweck ungeeignet, da sie das Licht nur sehr unvollständig polarisiren. Der Winkel, unter welchem das von einer polirten Oberfläche zurückgeworfene Licht am vollständigsten polarisirt wird, und welcher, wie wir gesehen haben, für Glas (ohngefähr) 33° beträgt, hat für verschiedene Substanzen verschiedene Werthe.

Auch das von unpolirten Flächen unregelmäßig zurückgeworfene Licht, das von den Wolken reflectirte Licht, selbst das Licht des heitern Himmels ist theilweise polarisirt.

Wir haben uns bisher nur mit dem durch Reflexion polarisirten Lichte beschäftigt. Auch das durch einen durchsichtigen Körper, z. B. eine Glasplatte, hindurchgegangene Licht zeigt Spuren von Polarisation, besonders dann, wenn der einfallende und austretende Strahl mit der Glasplatte einen Winkel von 33° bilden. Der durchgelassene Strahl wird vollständiger polarisirt, wenn man denselben durch mehrere parallele Glasplatten hindurchgehen läßt. Der auf diese Art erhaltene und der durch Reflexion polarisirte Strahl unterscheiden sich in sofern von einander, als ihre Polarisationsebenen auf einander senkrecht stehen.

Die Polarisation des Lichtes ist zuerst von dem Franzosen Malus 1808 entdeckt worden.

Nach der Vibrationshypothese unterscheidet sich ein polarisirter Lichtstrahl von einem gewöhnlichen dadurch, daß bei ersterem die Aethertheilchen nur in einer Ebene, (welche nach der Annahme der meisten Physiker aus Gründen, auf welche wir jedoch hier nicht näher eingehen können, zur Polarisationsebene senkrecht ist,) bei letzterem aber in verschiedenen Ebenen schwingen. Hieraus erklärt sich denn auch die Erscheinung, daß zwei polarisirte Strahlen, deren Polarisationsebenen auf einander senkrecht stehen, sich nicht interferiren. Diese Erscheinung ist der Grund, weßhalb man, wie wir schon oben in der Anmerkung zu §. 185 angegeben haben, annimmt, daß die Schwingungen der Aetherwellen, welche das Licht fortpflanzen, nicht wie die Schwingungen der den Schall fortpflanzenden Luftwellen in einer der Richtung des Strahles parallelen, sondern in einer auf den Lichtstrahl senkrechten Richtung erfolgen.

Der Engländer Brewster hat gezeigt, daß für eine jede Substanz der Winkel der vollkommenen Polarisation von dem Brechungsexponenten abhängt. Ein von der Oberfläche eines Körpers zurückgeworfener Lichtstrahl ist nehmlich dann vollständig polarisirt, wenn der reflectirte und der gebrochene Strahl auf einander senkrecht stehen, und wenn folglich auch der Einfalls- und der Brechungswinkel sich zu einem rechten ergänzen. Bezeichnen wir daher den ersteren mit α, den letzteren mit β und den Brechungsexponenten mit n, so ist bekanntlich $\sin \alpha = n \sin \beta$.

Nach dem so eben angegebenen Gesetze ist aber $\sin \beta = \cos \alpha$, wonach aus der vorstehenden Gleichung folgt: $\tang \alpha = n$.

Hat man aus dieser Gleichung den Werth von α für irgend eine Substanz berechnet, so ist der Winkel, welchen der einfallende Strahl mit der reflectirenden Fläche bilden muß, um vollständig polarisirt zu werden, $= 90^0 - \alpha$. Da n für verschiedene Substanzen verschiedene Werthe hat, so muß auch der Winkel der vollkommenen Polarisation für dieselben eine verschiedene Größe haben. Ja, dieß muß sogar bei der nehmlichen Substanz für die verschiedenfarbigen Strahlen der Fall sein, da sich dieselben bekanntlich durch ihre verschiedene Brechbarkeit von einander unterscheiden. Dieß ist einer von den Gründen, warum bei Anwendung weißen Lichtes das Gesichtsfeld im Zerlegungsspiegel niemals vollkommen dunkel erscheint, wenn dieses auch nach der Theorie der Fall sein sollte, wozu noch der Umstand kommt, daß bei allen Spiegeln zu dem regelmäßig reflectirten sich auch unregelmäßig reflectirtes Licht gesellt u. dgl. m.

*§. 213. Doppelte Brechung des Lichtes.

Viele durchsichtige Mineralien, ins Besondere der Kalkspath, besitzen die Eigenschaft, bei der Brechung den eintretenden Lichtstrahl in zwei verschiedene Strahlen zu spalten. Legt man einen Kalkspathkrystall auf ein weißes Papier, auf welchem sich ein schwarzer Punkt befindet, so erscheint derselbe doppelt.

Von den beiden Strahlen, in welche ein Lichtstrahl bei der Brechung im Kalkspathe gespalten wird, befolgt der eine, (welcher in der Regel stärker gebrochen wird,) das Brechungsgesetz und wird daher der regelmäßig gebrochene genannt. Er liegt nehmlich in der Einfallsebene, und zwischen dem Sinus des Einfalls- und des Brechungswinkels findet beständig dasselbe Verhältniß statt. Der andere, gewöhnlich schwächer gebrochene Strahl dagegen befolgt ganz abweichende eigenthümliche Gesetze und heißt der unregelmäßig gebrochene. Beide durch die doppelte Brechung entstehende Strahlen verhalten sich nicht wie gewöhnliches Licht, sondern sind polarisirt, und ihre Polarisationsebenen schneiden sich unter rechten Winkeln.

In jedem das Licht doppelt brechenden Körper giebt es eine Richtung, in welcher der regelmäßig und unregelmäßig gebrochene Strahl zusammenfallen, so daß also ein in dieser Richtung eintretender Strahl nicht gespalten wird. Diese Linie heißt die optische Axe des Krystalls.

Bei dem Kalkſpath, welcher ſich ſehr leicht nach drei Richtungen ſpalten läßt, fällt die optiſche Axe in die Richtung der Linie, welche in dem durch Spaltung erhaltenen Rhomboeder die Ecke a, Fig. 245, in welcher drei ſtumpfe Winkel zuſammenſtoßen, mit der gegenüberliegenden Ecke verbindet.

(Fig. 245.)

Nach der Vibrationshypotheſe wird die doppelte Brechung durch die Annahme erklärt, daß in einem das Licht doppelt brechenden Kryſtalle der Aether nach verſchiedenen Richtungen eine ungleiche Dichtigkeit habe. Wir übergehen jedoch die nähere Entwickelung dieſer Theorie und brechen hier überhaupt von den Erſcheinungen der doppelten Brechung und der Polariſation gänzlich ab, da dieſelben nur durch beſondere Apparate hervorgebracht und für gewöhnlich gar nicht beobachtet werden. Wir bemerken nur noch, daß ſenkrecht auf die optiſche Axe geſchnittene Platten von Kalkſpath und andere das Licht doppelt brechende Subſtanzen, ſtark erhitzte und dann raſch abgekühlte Glasplatten, ſehr dünne Blättchen von Gyps und Glimmer, welche ebenfalls das Licht doppelt brechen, im polariſirten Lichte ſehr ſchöne Farbenerſcheinungen zeigen, welche an Pracht und Mannigfaltigkeit alle anderen optiſchen Erſcheinungen übertreffen und nach der Vibrationshypotheſe durch Interferenz der Lichtwellen erklärt werden. — Die Farbenerſcheinungen, welche ſich zeigen, wenn die Reflexionsebenen des Polariſationsſpiegels und des Zerlegungsſpiegels parallel ſind, ſind die complementären von denen, welche man beobachtet, wenn dieſe Ebenen ſich rechtwinkelig durchſchneiden.

Der Engländer Nicol hat auf eine ſinnreiche Weiſe zwei Kalkſpathprismen ſo combinirt, daß ſie nur dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle einen Durchgang geſtatten. Zu dieſem Zwecke wird ein natürliches Kalkſpathrhomboeder abcd, Fig. 246, an den Endflächen ſo abgeſchliffen, daß die neu entſtandenen Flächen af und eg zur optiſchen Axe ſenkrecht ſind. (Dieſelben bilden dann mit den Seitenflächen ad und bc Winkel von 68°, während die natürlichen Flächen ab und cd dieſe Flächen unter Winkeln von 71° ſchneiden.) Hierauf wird von dieſem Prisma die eine Hälfte feg ſo weggeſchliffen, daß die neuentſtandene Fläche fg der optiſchen Axe parallel und folglich auf den Flächen af und eg ſenkrecht iſt. Eben ſo wird ein zweites Kalkſpathrhomboeder behandelt, nur mit dem Unterſchiede, daß hier die Hälfte afg weggeſchliffen wird. Die beiden übrig gebliebenen Hälften afg und efg aber werden mit den Flächen fg an einander gelegt und durch Kanada-Balſam verbunden. — Ein auf die Fläche af dieſes Doppelprismas in der Richtung mn einfallender Lichtſtrahl wird nun in Folge der doppelten Brechung in zwei Strahlen geſpalten, von denen der auf gewöhnliche Weiſe und ſtärker gebrochene Strahl no die Schicht Kanada-Balſam unter einem ſo ſpitzen Winkel trifft, daß er an derſelben eine totale Reflexion erleidet, während der ungewöhnlich und ſchwächer gebrochene Strahl np durch dieſelbe hindurchgeht und bei p in einer mn parallelen Richtung pq austritt. Man ſieht daher durch dieſes Doppelprisma, deſſen Seitenflächen ag und eg ſchwarz angeſtrichen ſind, die Gegenſtände einfach, indem dasſelbe nur den unregelmäßig gebrochenen Strahlen den Durchgang geſtattet. — Man kann ſich eines ſolchen Prismas ſehr bequem ſtatt des Zerlegungsſpiegels im Polariſationsapparate bedienen. — Ferner kann man mit Hülfe desſelben leicht unterſuchen, ob das von einem Körper ausgehende Licht polariſirt iſt oder nicht. Betrachtet man nehmlich einen Körper durch ein Nicol'ſches Prisma, ſo iſt das von demſelben ausgehende Licht polariſirt, wenn die Intenſität dieſes Lichtes bei einer Umdrehung des Prismas

(Fig. 246.)

um 360° zweimal ein Maximum und zweimal ein Minimum erreicht; es ist dagegen nicht polarisirt, wenn der Gegenstand während der ganzen Umdrehung immer gleich hell erscheint.

Wenn ein polarisirter Lichtstrahl durch eine senkrecht auf die Axe geschnittene Platte von Bergkrystall hindurchgeht, so erleidet die Polarisationsebene eine Drehung. Die Größe dieser Drehung wächst in gleichem Verhältnisse mit der Dicke der Platte; sie ist jedoch für die verschiedenfarbigen Strahlen verschieden. Beobachtet man die Erscheinung im einfarbigen Lichte, indem man nach dem Zerlegungsspiegel durch ein tief gefärbtes Glas sieht, so findet man, daß die Drehung für eine ein Millimeter dicke Bergkrystallplatte für die äußersten rothen Strahlen $17^1/_2{}^0$, für die äußersten violetten Strahlen 44° beträgt. — Die Richtung der Drehung ist nicht bei allen Bergkrystallen dieselbe, man unterscheidet rechts und links drehende Bergkrystalle.

Auch andere Substanzen, ins Besondere Flüssigkeiten, z. B. Terpentinöl, Zuckersyrup, Auflösungen von Gummi in Wasser u. a. m., besitzen die nehmliche merkwürdige Eigenschaft. Da die Größe der Drehung bei dem Zuckersyrup um so beträchtlicher ist, je größer sein Zuckergehalt ist, so kann die Abmessung jener Größe zur Ermittelung der Menge des in dem Syrup enthaltenen Zuckers dienen.

Besonders zu diesem Zwecke construirte Apparate, welche bei der Zuckerfabrikation nützliche Anwendung finden, führen den Namen Saccharimeter.

Am Ende des Jahres 1845 hat Faraday in England die merkwürdige Entdeckung gemacht, daß, wenn man einen polarisirten Lichtstrahl durch einen festen oder flüssigen durchsichtigen Körper, wie Glas, Terpentinöl, Wasser u. a. m., welchen man mit einer Drahtspirale umwunden hat, hindurchgehen läßt, die Polarisationsebene dieses Lichtstrahles, wenn man durch den Draht einen electrischen Strom leitet, eine Drehung erleidet, deren Größe in gleichem Verhältnisse mit der Stärke des electrischen Stromes zunimmt. Aehnliches ist der Fall, wenn der durchsichtige Körper zwischen die Pole eines kräftigen Magneten, besonders eines Electromagneten, so gebracht wird, daß die beide Pole verbindende Linie der Richtung des polarisirten Strahles parallel ist.

§. 214. Chemische Wirkungen des Lichtes.

Allgemein bekannt ist der Einfluß des Lichtes auf den Vegetationsprozeß. Die grünen Theile der Pflanzen nehmen im Lichte die in der atmosphärischen Luft enthaltene Kohlensäure auf, eignen sich den Kohlenstoff derselben an und athmen Sauerstoff aus. Wenn man einen grünen Zweig in eine mit kohlensäurehaltigem Wasser gefüllte durchsichtige Flasche bringt und dieselbe in das Sonnenlicht stellt, so sieht man Blasen von Sauerstoffgas in dem Wasser aufsteigen; diese Gasentwickelung findet dagegen im Dunkeln nicht statt.

Auch das Bleichen vegetabilischer Stoffe im Sonnenlichte beruht auf einer chemischen Wirkung des Lichtes. Indem nehmlich unter dem Einflusse desselben die organischen Farbenpigmente, welche vorzüglich aus Wasserstoff und Kohlenstoff bestehen, aus der Atmosphäre Sauerstoff aufnehmen, sich oxydiren, verändern dieselben zugleich ihre Farben oder büßen sie ganz ein.

Andere Beispiele sind folgende: Wenn man ein Gemenge aus einem Maaß Chlorgas und einem Maaß Wasserstoffgas, welches man im Dunkeln in einer farblosen Flasche gemacht hat, der Wirkung des Sonnenlichtes aussetzt, so vereinigen sich beide Gase augenblicklich und unter heftiger Explosion*) zu Salzsäure. — Wasser, welches mit Chlorgas gesättigt ist, entwickelt Sauerstoffgas, indem das Chlor dem Wasser Wasserstoff entzieht und sich mit demselben zu Salzsäure verbindet. — Der gelblich-weiße Phosphor röthet sich im Lichte. — Das weiße Chlorsilber wird im Lichte, besonders im Sonnenlichte, erst violett, dann schwarz gefärbt, indem dasselbe eine Zersetzung erfährt.

*) Ein Versuch, der also große Vorsicht erfordert. — Auch Chlorgas, welches eine Zeitlang der Einwirkung des Sonnenlichtes ausgesetzt gewesen, vereinigt sich im Dunkeln mit Wasserstoffgas.

Die verschiedenfarbigen Strahlen besitzen jedoch diese Eigenschaft in sehr verschiedenem Maaße. Ein mit Chlorsilber überzogener Papierstreifen, welchen man der Wirkung der verschiedenen farbigen Strahlen des prismatischen Sonnenbildes aussetzt, wird am stärksten von den violetten Strahlen und selbst noch jenseits derselben geschwärzt; die Wirkung nimmt dagegen nach den rothen Strahlen hin rasch ab, und die rothen Strahlen selbst bringen nur eine sehr schwache oder gar keine Wirkung hervor. Während also, wie wir weiter unten (§. 250) sehen werden, die rothen Strahlen vorzüglich erwärmend wirken, üben die violetten die stärkste chemische Wirkung aus.

Die chemische Wirkung des Lichtes ist von Scheele 1773 entdeckt worden. — Wollaston und Ritter haben zuerst 1802 gezeigt, daß die chemischen Wirkungen des Spectrums sich noch über das äußerste Violett hinaus erstrecken, während Herschel fast um dieselbe Zeit gefunden hat, daß die thermischen Wirkungen noch über die äußerste Grenze des Roths hinausgehen.

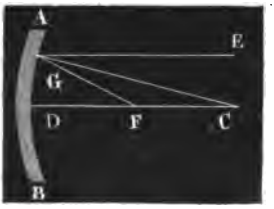
Um die chemische Wirkung des Lichtes auf Chlorsilber zu zeigen, bestreicht man einen weißen Papierstreifen mit einer Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd, trocknet denselben und taucht ihn dann in eine Kochsalzlösung, wobei sich derselbe mit weißem Chlorsilber überzieht, welches sich, so wie es aus dem Dunkeln in's Tages- oder Sonnenlicht gebracht wird, erst violett und dann schwarz färbt.

H. Von den optischen Instrumenten*), vom Auge und vom Sehen.

*§. 215a. Gekrümmte Spiegel.

Wir beschränken uns hauptsächlich auf die Betrachtung sphärischer Spiegel, d. h. solcher spiegelnder Flächen, welche einen Theil einer Kugelfläche ausmachen. Wir unterscheiden concave oder Hohlspiegel und convexe Spiegel, je nachdem die hohle oder erhabene Seite derselben polirt ist, und handeln nur von den concaven Spiegeln ausführlicher, da die convexen Spiegel wenig Anwendung finden.

(Fig. 247.)



Es sei AB, Fig. 247, der Durchschnitt eines Hohlspiegels und C der Mittelpunkt der Krümmung, d. h. der Mittelpunkt der Kugelfläche, von welcher der Spiegel ein Theil ist. Dann heißt die Linie CD, welche durch den Mittelpunkt der Krümmung und die Mitte des Spiegels geht, die Axe des Spiegels. Ein in der Richtung der Axe CD einfallender Strahl trifft offenbar senkrecht auf die Oberfläche des Spiegels und wird daher in sich selbst zurückgeworfen. Dasselbe gilt eben so von jedem durch den Mittelpunkt der Krümmung C gehenden Strahl CG. Man nennt einen solchen Strahl einen Hauptstrahl.

Betrachten wir weiter einen mit der Axe parallel einfallenden Strahl EG. Wenn wir den Radius CG ziehen, so steht dieser auf der durch G gehenden Tangente senkrecht und stellt folglich das Einfallsloth vor; wenn wir daher Winkel CGF = CGE machen, so ist FG der reflectirte Strahl. —

*) Auch im Vorhergehenden ist schon von verschiedenen optischen Instrumenten die Rede gewesen. Dieselben dienten, wie z. B. das Prisma, zur Erforschung besonderer Eigenschaften des Lichtes. Diejenigen optischen Instrumente, von denen in den folgenden Paragraphen gehandelt wird, lehren uns keine neuen Eigenschaften des Lichtes, sondern merkwürdige und nützliche Anwendungen der im Vorhergehenden entwickelten allgemeinen Gesetze kennen.

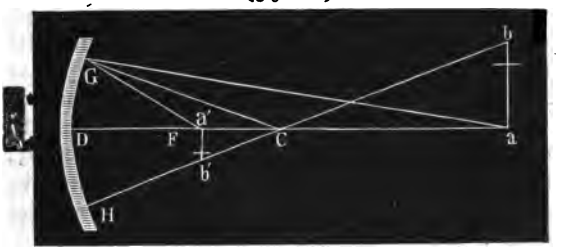
Da EG parallel CD ist, so ist Winkel DCG = CGE = CGF, folglich auch CF = FG. Bei allen Hohlspiegeln, welche zu optischen Zwecken gebraucht werden, umfaßt die Weite des Spiegels, d. h. der Bogen AB, nur wenige Grade; es kann daher auch Bogen DG nur wenige Grade betragen. Dieß vorausgesetzt, können wir ohne erheblichen Fehler FG mit FD vertauschen und also FD = FC setzen. Der mit der Axe parallel einfallende Strahl EG wird also von dem Hohlspiegel so zurückgeworfen, daß der reflectirte Strahl die Axe in der Mitte zwischen dem Spiegel und dem Mittelpunkte durchschneidet. Aus gleichen Gründen, wie wir so eben für den Strahl EG entwickelt haben, müssen auch alle anderen mit der Axe parallel einfallenden Strahlen nach der Zurückwerfung durch den Punkt F gehen. Wir können daher überhaupt über den Hohlspiegel folgenden allgemeinen Satz aufstellen:

1) Strahlen, welche parallel mit der Axe auf den Hohlspiegel fallen, vereinigen sich nach der Reflexion in einem Punkte der Axe, welcher der Brennpunkt genannt wird. Sein Abstand vom Spiegel ist dem halben Radius gleich und heißt die Brennweite. Hieraus folgt umgekehrt:

2) Strahlen, welche vom Brennpunkte aus auf den Hohlspiegel fallen, werden mit der Axe parallel zurückgeworfen. — Denn wenn FG der einfallende Strahl ist, so ist der zurückgeworfene Strahl offenbar GE, also mit der Axe parallel.

Es sei ferner a, Fig. 248, ein leuchtender Punkt in der Axe; der durch den Mittelpunkt gehende Strahl aD wird in sich selbst zurückgeworfen; ein anderer von a ausgehender Strahl treffe den Spiegel in G, dann ist CG das Einfallsloth und folglich, wenn wir Winkel a'GC = aGC machen, a'G der zurückgeworfene Strahl. Da der Winkel aGC offenbar kleiner, als der Winkel ist, welchen ein mit der Axe parallel einfallender Strahl im Punkte G mit CG bilden würde, so muß auch der reflectirte Strahl a'G einen kleineren Winkel mit dem Einfallslothe CG bilden, als die nach dem Brennpunkte gehende Linie FG. Es muß daher der vom Punkte a ausgehende Strahl nach der Reflexion die Axe in einem zwischen dem Mittelpunkte und dem Brennpunkte liegenden Punkte a' schneiden. Durch eine der vorher für parallele Strahlen angewendeten ähnliche Ueberlegung läßt sich zeigen, daß auch alle anderen von a ausgehenden Strahlen nach der Reflexion die Axe sehr nahe in dem nehmlichen Punkte a' schneiden. Ein in der Richtung dieser Strahlen befindliches Auge wird daher von denselben ganz so getroffen, als wenn dieselben von dem Punkte a' ausgegangen wären, und muß daher in a' ein Bild des leuchtenden Punktes a erblicken.

(Fig. 248.)



Es sei ferner b ein leuchtender Punkt außerhalb der Axe; dann wird der von demselben ausgehende Hauptstrahl bH in sich selbst zurückgeworfen, und

aus den nehmlichen Gründen, welche für den Punkt a gelten, durchschneiden die von dem leuchtenden Punkte b aus auf den Spiegel fallenden Strahlen nach der Reflexion den Hauptstrahl bH in ein und demselben Punkte, als welchen wir b'*) annehmen wollen. Wenn nun die Punkte a und b ohngefähr gleichen Abstand vom Spiegel haben, so wird dasselbe auch von den Bildern derselben a' und b' gelten; und wenn ab einen leuchtenden Gegenstand vorstellt, so werden offenbar die Bilder aller zwischen a und b liegenden Punkte zwischen a' und b' fallen. Ein in der Richtung der reflectirten Strahlen befindliches Auge wird daher in a'b' ein Bild des leuchtenden Gegenstandes ab erblicken. (Dieses Bild wird nach allen Seiten hin sichtbar, wenn man es mit einem schmalen Streifen feinen Papiers oder mit einer schmalen mattgeschliffenen Glasscheibe auffängt.) Wir können daher weiter über den Hohlspiegel folgende Sätze aufführen:

3) Von einem jenseits des Mittelpunktes befindlichen Gegenstande ab entsteht zwischen dem Mittelpunkte und dem Brennpunkte ein verkleinertes und verkehrtes Bild a'b'.

4) Ist der Gegenstand von dem Spiegel sehr weit entfernt, so fällt das Bild ganz nahe an den Brennpunkt. — Denn je weiter der Punkt a hinausrückt, um so mehr nähert sich der Strahl aG einer der Axe parallelen Lage; um so mehr muß folglich auch der Winkel CGa' sich dem Winkel CGF und der Punkt a sich dem Punkte F nähern.

5) Nähert sich der Gegenstand dem Mittelpunkte, so bewegt sich auch das Bild vom Brennpunkte nach dem Mittelpunkte hin. — Denn wenn der Punkt a näher an C rückt, so nimmt Winkel CGa, also auch Winkel CGa' ab.

6) Tritt der Gegenstand in den Mittelpunkt, so fällt das Bild ebenfalls in den Mittelpunkt. — Denn die vom Mittelpunkte ausgehenden Strahlen werden in sich selbst zurückgeworfen.

7) Befindet sich der Gegenstand zwischen dem Mittelpunkte und dem Brennpunkte, so fällt das Bild über den Mittelpunkt hinaus, ist vergrößert und umgekehrt. — Denn so, wie wir in Nr. 3 gezeigt haben, daß a'b' das Bild eines leuchtenden Gegenstandes ab, Fig. 248, vorstellt, so muß auch umgekehrt, wenn a'b' einen leuchtenden Gegenstand vorstellt, ab das Bild desselben sein.

So kann man z. B. leicht von einer zwischen dem Mittelpunkte und dem Brennpunkte eines Hohlspiegels in richtiger Entfernung aufgestellten Lichtflamme an der gegenüberliegenden Wand des Zimmers ein verkehrtes und vergrößertes Bild erzeugen.

8) Das Bild ist um so weiter vom Spiegel entfernt und um so größer, je mehr sich der Gegenstand dem Brennpunkte nähert.

9) Befindet sich der Gegenstand im Brennpunkte, so entsteht gar kein Bild; die auf den Spiegel fallenden Strahlen werden durch die Zurückwerfung nicht mehr, wie in den vorhergehenden Fällen, convergent, sondern parallel.

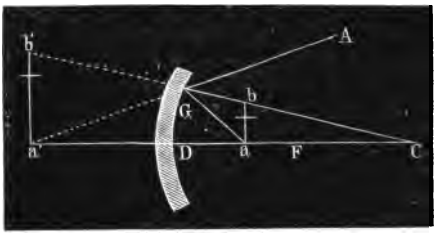
---

*) Man kann die genaue Lage des Punktes b' sehr leicht durch eine einfache geometrische Construction erhalten, wenn man durch b den der Axe parallelen Strahl zeichnet, welcher nach Nr. 1 in einer durch den Brennpunkt F gehenden Richtung zurückgeworfen wird und bH in b' durchschneidet.

*§. 215b. Fortsetzung.

Wir haben nun noch den Fall zu untersuchen, wenn ein leuchtender Gegenstand sich zwischen dem Spiegel und dem Brennpunkte befindet. Betrachten wir zunächst einen leuchtenden Punkt a in der Axe, Fig. 249. Der von demselben ausgehende Hauptstrahl aD wird in sich selbst zurückgeworfen; ein anderer von a auf den Spiegel fallender Strahl treffe den Spiegel in G. Da der Winkel aGC größer ist, als der Winkel, welchen die vom Brennpunkte F ausgehende Linie FG mit dem Einfallslothe bildet, so muß auch der reflectirte Strahl AG von CG um mehr, als eine durch den Punkt G mit der Axe parallel gezogene Linie abweichen. Derselbe muß daher mit der Axe divergiren und, rückwärts verlängert, die Verlängerung der Axe in irgend einem Punkte a' schneiden. Sehr nahe in demselben Punkte a' durchschneiden auch die Verlängerungen aller anderen, von a auf den Spiegel fallenden und von demselben zurückgeworfenen, Strahlen die verlängerte Axe. Ein vor dem Spiegel befindliches Auge muß daher in a' ein Bild des leuchtenden Punktes a erblicken. Eben so entsteht von einem außerhalb der Axe befindlichen Punkte b in der verlängerten Richtung des Hauptstrahles bC ein Bild in b' und von einem ganzen Gegenstande ab das Bild a'b'. Wir erhalten daher über den Hohlspiegel noch folgenden Satz:

(Fig. 249.)



10) Von einem innerhalb der Brennweite befindlichen Gegenstande ab entsteht hinter dem Spiegel ein aufrechtes und vergrößertes Bild a'b', welches um so größer ist und um so weiter hinter den Spiegel fällt, je näher sich der Gegenstand ab am Brennpunkte befindet. — Wenn man sich so nahe vor einen Hohlspiegel stellt, daß der Abstand des Spiegels vom Gesichte kleiner ist, als die Brennweite, so sieht man sein eigenes Bild im Spiegel aufrecht und vergrößert.

In dem zuletzt besprochenen Falle schneiden sich die vom Hohlspiegel zurückgeworfenen Strahlen nicht selbst, sondern in ihren Verlängerungen. Man nennt das auf diese Art entstehende Bild ein geometrisches, dagegen die unter Nr. 3 und 7 besprochenen Bilder, bei denen sich die reflectirten Strahlen selbst durchschneiden, und die sich daher auch auffangen und nach allen Seiten hin sichtbar machen lassen, physische. Die im Planspiegel entstehenden Bilder gehören zu den geometrischen, da sich bei denselben die reflectirten Strahlen nicht selbst, sondern in ihren Verlängerungen durchschneiden.

Man kann die Hohlspiegel zur Erzeugung hoher Hitzegrade benutzen und giebt denselben dann den Namen: Brennspiegel. Wenn nehmlich auf einen Hohlspiegel die Sonnenstrahlen parallel mit der Axe fallen, so werden dieselben nach dem Brennpunkte hin convergent zurückgeworfen und erzeugen ein verkleinertes Bild der Sonne. Sie werden also in einen engen Raum concentrirt, welchen man den Brennraum nennt, und bewirken hier eine starke Hitze. Man benutzte daher früher, wie wir schon oben (§. 94) gesehen haben, die Brennspiegel zum Verbrennen der Diamanten. Außerdem

wendet man dieſelben gegenwärtig häufig zur Erleuchtung bei Mikroſcopen, als Reverberen u. ſ. w., an.

So wie die auf einen Hohlſpiegel parallel mit der Axe auffallenden Strahlen durch die Zurückwerfung convergent werden, ſo werden dagegen bei einem Convexſpiegel die mit der Axe parallel auffallenden Strahlen durch die Zurückwerfung divergent; ihre Verlängerungen ſchneiden ſich in einem Punkte, welcher in der Entfernung des halben Radius hinter dem Spiegel liegt und der geometriſche Brennpunkt desſelben genannt wird. Durch eine Betrachtung, welche der über Hohlſpiegel angeſtellten ganz ähnlich iſt, läßt ſich zeigen, daß die Bilder aller vor dem Convexſpiegel liegenden Gegenſtände hinter denſelben, zwiſchen Spiegel und Brennpunkt, fallen und aufrecht und verkleinert ſind, wie man dieß häufig an den in Gärten aufgeſtellten gläſernen, inwendig geſchwärzten Kugeln zu beobachten Gelegenheit hat.

In cylinderförmigen convexen Spiegeln haben die Bilder in der mit der Axe parallelen Richtung die natürliche Länge, ſind aber in der darauf ſenkrechten Richtung verkürzt. Bei kegelförmigen Spiegeln iſt dieſe Verſchmälerung nach der Spitze hin beträchtlicher, als in der Nähe der Grundfläche u. ſ. w.

Wenn wir den geradlinigen Durchmeſſer eines Hohlſpiegels mit D, den Durchmeſſer des Brennraumes, in welchem die Sonnenſtrahlen concentrirt werden, mit d bezeichnen, ſo iſt die Verdichtung derſelben offenbar $= \frac{D^2}{d^2}$, wenn der Spiegel alle auffallenden Strahlen reflectirt, was jedoch in der Wirklichkeit niemals ſtattfindet. Die Menge der reflectirten Strahlen beträgt ſelbſt bei den beſten Hohlſpiegeln kaum $^2/_3$ der auffallenden. Iſt ab, Fig. 250, der Halbmeſſer der Sonne, a'b' der Halbmeſſer des Brennraumes, ſo iſt Winkel $aCb = a'Cb' = 16'$ ohngefähr, alſo $a'b' = a'C \cdot \text{tang } a'Cb' = a'C \cdot \text{tang } 16'$. — Wegen der ſehr großen Entfernung der Sonne iſt a'C gleich der Brennweite, welche wir mit p bezeichnen wollen, zu ſetzen, alſo der Durchmeſſer des Brennraumes

$$= 2p \text{ tang } 16' = 2p \cdot 0{,}00456 = \frac{2p}{216} = \frac{p}{108},$$

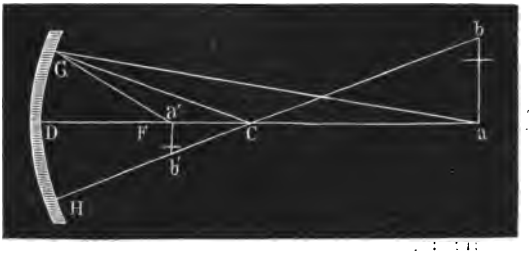
folglich, wenn wir von dem mit der Reflexion verbundenen Verluſte der Lichtſtrahlen abſehen, die Verdichtung der Sonnenſtrahlen im Brennraume

$$= \frac{D^2}{(^1/_{108}p)^2} = \frac{(108D)^2}{p^2},$$

ſie iſt alſo dem Quadrate des Durchmeſſers des Spiegels direct und dem Quadrate der Brennweite umgekehrt proportional.

Dieſelbe Formel gilt auch für die Brenngläſer, von denen im folgenden Paragraphen die Rede iſt.

(Fig. 250.)



Iſt a, Fig. 250, ein leuchtender Punkt in der Axe, a' das Bild desſelben, alſo Winkel $aGC = a'GC$, ſo verhält ſich bekanntlich $aG : a'G = aC : a'C$. Iſt die Weite des Spiegels, alſo auch der Bogen DG, klein, ſo können wir ohne erheblichen Fehler $aG = aD$ und $a'G = a'D$ ſetzen, wodurch ſich die obige Proportion verwandelt in

$$aD : a'D = aC : a'C,$$

oder wenn wir der Kürze wegen den Abſtand des leuchtenden Punktes a vom Spiegel $aD = a$, den Abſtand des Bildes a' vom Spiegel $a'D = \alpha$ und die Brennweite $DF = CF = p$, alſo $CD = 2p$ ſetzen:

$$a : \alpha = a - 2p : 2p - \alpha,$$

folglich $2ap - a\alpha = a\alpha - 2p\alpha$,
oder $ap = a\alpha - p\alpha$.
Dividiren wir diese Gleichung durch $ap\alpha$, so erhalten wir die folgende einfache Formel

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a},$$

nach welcher sich sehr leicht α berechnen läßt, wenn p und a gegeben sind. So finden wir z. B. aus derselben für

$a = \infty$	$\alpha = p$
$a = 100p$,	$\alpha = 1^1/_{99}p$
$a = 10p$,	$\alpha = 1^1/_9p$
$a = 2p$,	$\alpha = 2p$
$a = p$,	$\alpha = \infty$
$a = 0{,}9p$,	$\alpha = -9p$
$a = 0{,}5p$,	$\alpha = -p$
$a = 0{,}1p$,	$\alpha = -\,^1/_9p$ u. dgl. m.

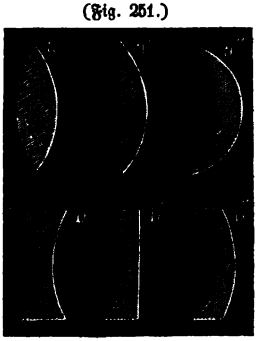
Man sieht aus dieser Zusammenstellung unter anderen, daß für einen Gegenstand, dessen Entfernung vom Brennpunkte der hundertfachen oder der zehnfachen Brennweite gleich ist, das Bild nur um $^1/_{99}$ oder um $^1/_9$ dieser Größe vom Brennpunkte absteht, daß also die Bilder aller von dem Spiegel um die vielfache Brennweite abstehenden Gegenstände sehr nahe an den Brennpunkt fallen, woraus sich ein bequemes Mittel ergibt, die Brennweite mit einer für die meisten Fälle hinreichenden Genauigkeit zu bestimmen. Man hat nehmlich nur nöthig, den Spiegel einem um die mehrfache Brennweite entfernten Fenster gegenüber zu halten und einen das Bild des Fensters auffangenden schmalen Schirm so lange zu nähern oder zu entfernen, bis dieses Bild möglichst deutlich erscheint. Die Entfernung des Schirmes vom Spiegel gibt dann die Brennweite nahe richtig an. — Weiter wird man noch bemerken, daß, wenn $a < p$ angenommen wird, der zugehörige Werth von α negativ wird, indem das Bild dann hinter den Spiegel fällt.— Endlich gilt die obige Formel auch für convexe sphärische Spiegel, wenn man p negativ setzt oder die Formel so schreibt:

$$\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p} - \frac{1}{a}.$$

§. 216a. Linsen.

Linsen sind Körper, welche von zwei Kugelflächen oder von einer Kugelfläche und von einer Ebene, (von einer mit einem unendlich großen Radius beschriebenen Kugelfläche,) begrenzt werden. Wir beschäftigen uns hier mit den Erscheinungen, welche durch die Brechung des Lichtes in durchsichtigen Linsen hervorgerufen werden. In dieser Hinsicht zerfallen dieselben in Sammellinsen, Fig. 251, a, a′ und a″ und Zerstreuungslinsen b, b′ und b″. Die ersteren sind in der Mitte dicker, als am Rande und machen, wie wir sogleich sehen werden, parallele Strahlen convergent; die letzteren dagegen sind am Rande dicker, als in der Mitte und machen parallele Strahlen divergent. Die Sammellinsen zerfallen wieder in biconvexe, Fig. 251, a, planconvexe a′, und concavconvexe a″; die Zerstreuungslinsen können sein biconcav, b, planconcav, b′, und convexconcav, b″. Bei einer convexconcaven Linse überwiegt die concave Krümmung, d. h. der Radius der concaven Seite ist kleiner, als der Radius der convexen Seite. Bei der concavconvexen (a″) findet das Umgekehrte statt.

(Fig. 251.)

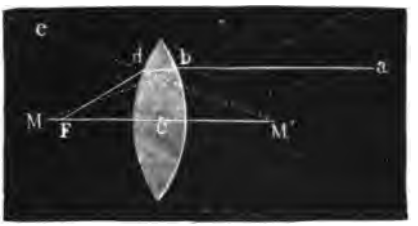


Die Linie, welche durch die Mittelpunkte der beiden Krümmungen einer Linse geht, also auf beiden Grenzflächen senkrecht steht, heißt die Axe, und

der Punkt in der Axe, welcher in der Mitte zwischen beiden Grenzflächen liegt, wird das optische Centrum genannt.

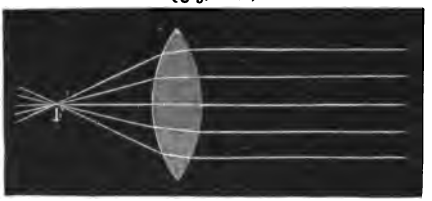
Wir betrachten zunächst die Erscheinungen, welche durch die Brechung des Lichtes in Sammellinsen hervorgerufen werden, und legen hierbei die biconveze Linse zu Grunde, da die Erscheinungen, welche die planconveze und die concavconveze Linse darbieten, im Wesentlichen dieselben sind.

(Fig. 252.)



Es seien M und M', Fig. 252, die Krümmungsmittelpunkte und C das optische Centrum einer biconvexen Sammellinse. Nehmen wir zunächst an, daß auf dieselbe ein Lichtstrahl ab in einer zur Axe MM' parallelen Richtung fällt, so wird derselbe bei seinem Eintritte in die Linse, da er aus Luft in Glas übergeht, zum Einfallslothe Mb, angenommen in die Richtung bd, bei seinem Austritte aus der Linse aber, da er jetzt aus dem Glase in die Luft übergeht, vom Einfallslothe M'de, angenommen in die Richtung dF, gebrochen, so daß er die Axe in einem Punkte F durchschneidet. Auch alle anderen parallel mit der Axe auf die Linse fallenden Strahlen, welche dieselbe in keinem zu großen Abstande von der Axe treffen, schneiden nach der Brechung durch die Linse, wie theoretische Betrachtungen lehren, und auch die Erfahrung bestätigt, die Axe, wenn auch nicht genau, doch sehr nahe in dem nehmlichen Punkte F, Fig. 253. Dieser Punkt wird der Brennpunkt der Linse genannt.

(Fig. 253.)



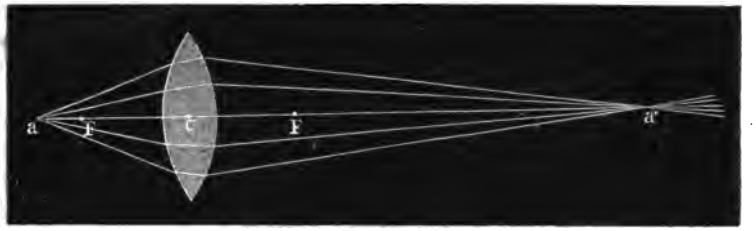
Umgekehrt geht hieraus hervor, daß, wenn sich in dem Brennpunkte F ein leuchtender Punkt befindet, die von demselben ausgehenden und auf die Linse divergent fallenden Strahlen durch dieselbe so gebrochen werden, daß die austretenden Strahlen eine der Axe parallele Richtung haben.

Ueberhaupt können wir über die Brechung der Lichtstrahlen durch eine Sammellinse folgende Sätze aufstellen: Parallele Strahlen werden durch die Linse convergent; schwächer divergirende Strahlen, als wie sie vom Brennpunkte aus auf die Linse treffen, werden durch dieselbe ebenfalls, (aber in geringerem Maaße, als im vorhergehenden Falle) convergent; mit der nehmlichen Divergenz, wie vom Brennpunkte aus, auf die Linse fallende Strahlen macht die Linse parallel, und stärker divergirende Strahlen bleiben auch nach der Brechung durch die Linse divergent, aber ihre Divergenz wird geschwächt. Fallen aber auf eine Linse Strahlen, welche schon convergent sind, so wird ihre Convergenz durch die Linse noch verstärkt.

Nehmen wir zunächst an, in der Axe einer Linse befinde sich ein leuchtender Punkt a, Fig. 254, in etwas größerem Abstande von derselben, als der

Brennpunkt F, so haben die von dem Punkte a auf die Linse fallenden Strahlen offenbar eine etwas schwächere Divergenz, als Strahlen, welche

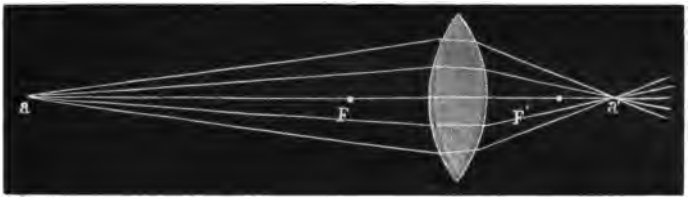
(Fig. 254.)



vom Brennpunkte F ausgehen. Dieselben werden daher durch die Linse convergent, und die austretenden Strahlen schneiden dem zu Folge die Axe in einem an der anderen Seite der Linse liegenden Punkte a'. Ein in der verlängerten Richtung dieser Strahlen befindliches Auge erblickt daher in a' ein Bild des leuchtenden Punktes a.

Entfernt sich der leuchtende Punkt a, Fig. 255, von der Linse, so fallen die von demselben ausgehenden Strahlen jetzt mit schwächerer Divergenz auf

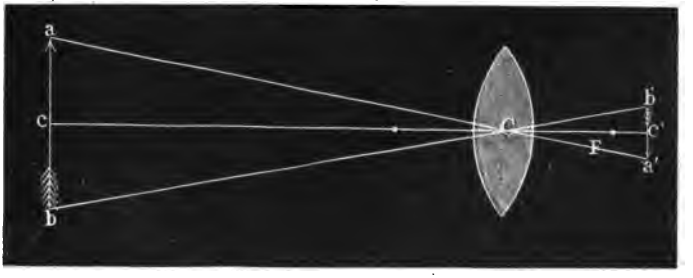
(Fig. 255.)



die Linse; sie treten daher, stärker convergent als vorhin, aus derselben aus, und ihr Vereinigungspunkt a' kommt in geringerer Entfernung hinter den Brennpunkt F' zu liegen.

Durch die so eben angestellten Betrachtungen werden wir in den Stand gesetzt, die Lage und Beschaffenheit des Bildes näher zu bestimmen, welches eine Linse von einem ganzen in der Richtung der Axe, aber außerhalb der Brennweite liegenden Gegenstande ab, Fig. 256, erzeugt. Die von dem in

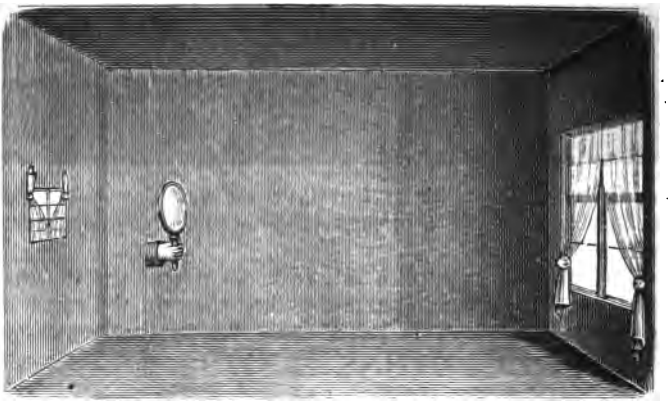
(Fig. 256.)



der Axe befindlichen Punkte c ausgehenden Strahlen werden, wie wir gesehen haben, durch die Linse so gebrochen, daß sie die Axe in einem jenseits des Brennpunktes F liegenden Punkte c' durchschneiden. Ziehen wir ferner

von dem außerhalb der Axe liegenden Punkte a eine Linie durch das optische Centrum C, so wird ein in der Richtung dieser Linie einfallender Strahl auch sehr nahe in der nehmlichen Richtung aus der Linse austreten, weil an den beiden gegenüberliegenden Stellen, wo er die Grenzflächen der Linse durchschneidet, dieselben einander nahezu parallel sind. So wie nun die von dem in der Axe liegenden Punkte c ausgehenden Strahlen sich nach der Brechung in dem Punkte c′ der Axe vereinigen, so vereinigen sich die von a ausgehenden Strahlen nach der Brechung in einem Punkte a′, welcher in der Verlängerung der durch das optische Centrum gezogenen Linie aC liegt*); und eben so fällt der Vereinigungspunkt der von dem Punkte b ausgehenden und durch die Linse gebrochenen Strahlen in einen auf der Verlängerung der Linie bC liegenden Punkt b′. Da nun die Vereinigungspunkte der von leuchtenden Punkten zwischen a und b ausgehenden Strahlen offenbar zwischen die Puukte a′ und b′ zu liegen kommen, so setzen dieselben in a′b′ ein umgekehrtes und verkleinertes Bild des leuchtenden Gegenstandes ab zusammen, welches nach allen Seiten hin sichtbar wird, wenn man dasselbe mit einem weißen Schirme auffängt. So läßt sich z. B. bekanntlich in einem Zimmer auf einer einem Fenster gegenüberliegenden weißen Wand mit Hülfe einer Sammellinse sehr leicht ein umgekehrtes und verkleinertes Bild des Fensters erzeugen, Fig. 257.

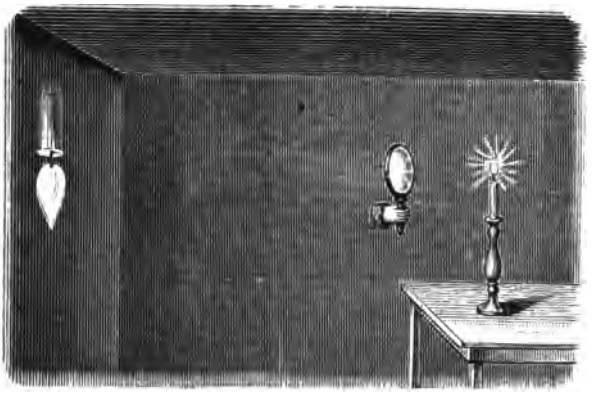
(Fig. 257.)



Wenn wir uns a′b′, Fig. 256, als einen leuchtenden Gegenstand denken, so werden die von a′ und b′ auf die Linse fallenden Strahlen nach der Brechung sich offenbar in den Punkten a und b vereinigen, und von dem Gegenstande a′b′ wird jetzt ein Bild in ab entstehen. Man erhält ein solches umgekehrtes und vergrößertes Bild sehr leicht, wenn man einer Linse eine Lichtflamme in einem übrigens dunkelen Zimmer allmählig nähert, bis das vergrößerte und verkehrte Bild derselben deutlich an einer gegenüberliegenden entfernten Wand des Zimmers erscheint, Fig. 258.

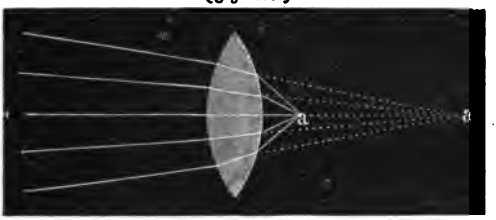
*) Man kann die genaue Lage des Punktes a′ leicht durch geometrische Construction erhalten, wenn man zunächst von a aus den durch das optische Centrum gehenden Strahl und ferner den mit der Axe parallelen Strahl zeichnet, welcher in einer durch den Brennpunkt F gehenden Richtung gebrochen wird. Dieser letztere Strahl schneidet den ersteren in a′.

(Fig. 258.)

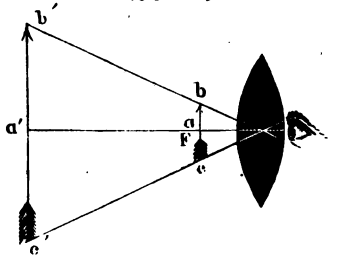


Wir haben nun noch den Fall zu erörtern, wenn sich ein leuchtender Punkt a, Fig. 259, innerhalb der Brennweite der Linse befindet. Da die von demselben ausgehenden Strahlen mit stärkerer Divergenz, als Strahlen, welche vom Brennpunkte kommen, auf die Linse fallen, so treten sie auch nach der Brechung divergent, aber mit geschwächter Divergenz aus der Linse aus, so daß ihre rückwärts fortgesetzten Verlängerungen die Axe in einem weiter von der Linse entfernten Punkte a' durchschneiden. Ein an der anderen Seite der Linse in der Richtung der austretenden Strahlen befindliches Auge erblickt daher den leuchtenden Punkt nicht in a, sondern weiter entfernt von der Linse in a'. Da sich in dem Punkte a' nicht die durch die Linse gebrochenen Strahlen selbst, sondern nur ihre Verlängerungen durchschneiden, so entsteht hier nicht, wie in den vorher betrachteten Fällen, ein wirkliches, reelles, Bild des leuchtenden Punktes, welches sich mit einem Schirme auffangen ließe. Nur das an der anderen Seite der Linse befindliche Auge wird von den vom Punkte a ausgehenden und durch die Linse gebrochenen Strahlen so getroffen, als wenn dieselben von dem Punkte a' hergekommen wären. Man pflegt in diesem Falle den Punkt a' das geometrische Bild des leuchtenden Punktes a zu nennen.

(Fig. 259.)



(Fig. 260.)



Betrachten wir ferner einen ganzen Gegenstand bc, Fig. 260, wenn derselbe einen kleineren Abstand, als der Brennpunkt F von der Linse hat. Das an der anderen Seite der Linse befindliche Auge sieht, wie wir so eben gezeigt haben, von dem in der Axe liegenden Punkte a in größerer Entfernung von der Linse ein Bild in a', und eben so erblickt dieses Auge von den Punkten

b und c in der Richtung der durch diese Punkte und das optische Centrum gezogenen Linien Bilder in b′ und c′, welche von der Linse weiter, als die Punkte b und c abstehen. Da nun dasselbe offenbar von allen anderen Punkten des Gegenstandes bc gilt, so erscheint derselbe dem Auge, durch die Linse gesehen, in b′c′, also weiter hinausgerückt, aufrecht und vergrößert.

Wenn man z. B. einer Sammellinse eine Schrift so nahe gegenüber hält, daß dieselbe sich innerhalb der Brennweite befindet, so sieht ein in der Richtung der austretenden Strahlen befindliches Auge die Schrift vergrößert und aufrecht. Eben so beruht auf dem eben Gesagten der sogenannte optische Kasten (Guckkasten, Panorama), bei welchem perspectivische Zeichnungen nahe am Brennpunkte einer Linse von ein bis zwei Fuß Brennweite aufgestellt sind und daher, durch die Linse gesehen, aufrecht und vergrößert erscheinen.

Bei der großen Wichtigkeit der im Vorhergehenden gewonnenen Resultate und der Unentbehrlichkeit derselben für das richtige Verständniß aller im Folgenden noch anzuführenden optischen Apparate stellen wir dieselben hier nochmals übersichtlich zusammen:

1) Unter dem Brennpunkte einer Linse versteht man denjenigen Punkt, in welchem mit der Axe parallel auffallende Strahlen nach der Brechung sich vereinigen.

2) Von einem außerhalb der Brennweite sich befindenden Gegenstande erzeugt die Linse ein reelles und umgekehrtes Bild.

Ist der Gegenstand von der Linse sehr weit entfernt, so kommt das Bild nahe an den Brennpunkt zu liegen und ist verkleinert. — Befindet sich dagegen der Gegenstand nahe am Brennpunkte, (jedoch außerhalb der Brennweite), so fällt das Bild in eine sehr weite Entfernung hinaus und ist vergrößert.

3) Tritt der Gegenstand in den Brennpunkt, so entsteht gar kein Bild.

4) Befindet sich der Gegenstand innerhalb der Brennweite, so erblickt ein an der anderen Seite der Linse in der Richtung der austretenden Strahlen befindliches Auge ein geometrisches aufrechtes Bild desselben, welches weiter als der Gegenstand von der Linse entfernt und vergrößert ist.

Früher bediente man sich der Sammellinsen auch als Brenngläser*); von den sehr mannigfaltigen und wichtigen Anwendungen derselben für optische Zwecke werden uns die folgenden Paragraphen zahlreiche Beispiele geben.

§. 216b. Fortsetzung.

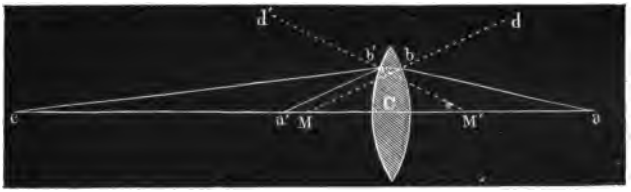
Wir handeln nur kurz von den Zerstreuungslinsen, da dieselben theils weit weniger Anwendung finden, als die Sammellinsen, theils das im Vorhergehenden über diese Gesagte sich leicht auf jene übertragen läßt. Da die Construction einer Zerstreuungslinse gerade die entgegengesetzte der Sammellinse ist, so muß dieselbe auch die umgekehrte Wirkung hervorbringen. Während also eine Sammellinse parallel oder schwach divergente Strahlen convergent macht und bei sehr stark divergenten Strahlen, welche sie nicht convergent zu machen vermag, die Divergenz schwächt, werden durch die Brechung in einer Zerstreuungslinse parallele Strahlen divergent und diver-

*) Vergl. die Anmerkung zum vorhergehenden Paragraphen.

gente Strahlen noch stärker divergent. Der Punkt, in welchem sich die rückwärts fortgesetzten Verlängerungen parallel mit der Axe auf die Linse fallender Strahlen nach der Brechung vereinigen, wird der **geometrische Brennpunkt** genannt. Da divergent auf die Zerstreuungslinse fallende Strahlen auch nach der Brechung divergent bleiben, so kann eine Zerstreuungslinse von leuchtenden Gegenständen niemals **physische**, sondern nur **geometrische** Bilder geben, und da die Zerstreungslinse die Divergenz verstärkt, so müssen diese Bilder näher bei der Linse liegen und also kleiner sein, als der Gegenstand. Ja sie müssen sämmtlich innerhalb der Brennweite liegen, weil divergent auffallende Strahlen aus der Linse offenbar stärker divergent austreten, als parallel auffallende. — Diese Bilder müssen endlich **aufrecht** sein, wie man sich leicht durch eine der Fig. 260 ähnliche Construction überzeugt. — **Durch eine Zerstreuungslinse gesehen, erscheinen also alle Gegenstände aufrecht verkleinert und näher gerückt.** — Die Zerstreuungslinsen finden vorzüglich nützliche Anwendung als **Brillen** für Kurzsichtige, wovon noch weiter unten (§. 222) ausführlicher die Rede sein wird.

Es seien M und M′, Fig. 261, die Krümmungsmittelpunkte einer biconvexen Linse und a ein leuchtender Punkt in der Axe. Ein von a auf die Linse fallender Strahl ab

(Fig. 261.)



wird, wie schon oben im Haupttexte angegeben, bei seinem Eintritte in die Linse in b zum Einfallslothe, angenommen in die Richtung bb′, und bei seinem Austritte in b′ vom Einfallslothe, angenommen in die Richtung b′a′, gebrochen. Es fragt sich nun, wie sich, wenn die Krümmungsradien der Linse r und r′ und der Brechungsexponent n der Substanz, aus welcher die Linse besteht, bekannt sind, aus der Entfernung des leuchtenden Punktes a von der Linse der Abstand des Punktes a′, in welchem der gebrochene Strahl die Axe durchschneidet, berechnen läßt. Ehe wir diese Aufgabe lösen, suchen wir zunächst die Lage des Punktes c zu bestimmen, in welchem die Verlängerung des innerhalb der Linse fallenden gebrochenen Strahles bb′ die Axe durchschneidet. Der einfallende Strahl ab bildet mit dem Einfallslothe Mbd den Winkel abd und der gebrochene Strahl bb′c bildet mit demselben den Winkel Mbc. Nun ist zu Folge des Brechungsgesetzes

$$\sin abd : \sin cbM = n : 1,$$

oder da der Winkel abM der Nebenwinkel von abd ist, und Nebenwinkel einerlei Sinus haben:

$$1)\quad \sin abM : \sin cbM = n : 1.$$

In den Dreiecken abM und cbM verhält sich aber bekanntlich

$$\sin abM : \sin aMb = aM : ab$$

und

$$\sin cMb : \sin cbM = cb : cM.$$

Da $\sin cMb = \sin aMb$ ist, so ergibt sich, wenn wir die beiden letzten Gleichungen mit einander multiplicieren:

$$2)\quad \sin abM : \sin cbM = aM \cdot cb : ab \cdot cM.$$

Verbinden wir diese Gleichung mit der Gleichung (1), so erhalten wir

$$aM \cdot cb : ab \cdot cM = n : 1$$

oder

$$3)\quad aM \cdot cb = n \cdot ab \cdot cM.$$

Beschränken wir uns auf die Annahme, welche für die meisten Zwecke ausreicht, daß die Linse in Vergleich mit dem Abstande des leuchtenden Punktes a von der Linse nur eine geringe Dicke hat, und daß der Strahl ab die Linse in nur geringem Abstande von der Axe trifft, so werden wir, wenn wir den Abstand des Punktes a von der Linse mit a,

die Entfernung des Punktes c von derselben mit c und den Krümmungshalbmesser bM mit r bezeichnen, annähernd

$$aM = a + r,\ cb = c,\ ab = a \text{ und } cM = c - r$$

setzen können. Hierdurch verwandelt sich die Gleichung (3) in

$$4)\ (a + r) \cdot c = n \cdot a \cdot (c - r)$$

oder $$cr + nar = nac - ac = (n - 1)\, ac.$$

Dividiren wir diese Gleichung durch das Produkt $a \cdot c \cdot r$, so geht dieselbe über in

$$5)\ \frac{1}{a} + n \cdot \frac{1}{c} = (n - 1) \cdot \frac{1}{r},$$

eine Gleichung, in welcher nur c unbekannt ist.

Nachdem wir so den Abstand des Punktes c von der Linse ermittelt haben, wenden wir uns zu unserer eigentlichen Aufgabe, den Abstand des Punktes a′ von der Linse zu finden. Wir bezeichnen diesen Abstand mit α und den Krümmungshalbmesser M′b′ mit r′. Der innerhalb der Linse liegende Strahl bb′ bildet mit dem Einfallslothe M′b′d′ den Winkel M′b′b und der austretende gebrochene Strahl a′b′ den Winkel a′b′d′. Zufolge des Brechungsgesetzes ist daher

$$\sin a'b'd : \sin bb'M' = n : 1,$$

oder, da wir in dieser Proportion statt der Winkel a′b′d′ und bb′M′ auch ihre Nebenwinkel a′b′M′ und cb′M′ setzen können:

$$1.\ 1)\ \sin a'b'M' : \sin cb'M' = n : 1.$$

Nun ist aber in den Dreiecken a′b′M′ und cb′M′

$$\sin a'b'M' : \sin a'M'b' = a'M' : a'b'$$

und $$\sin cM'b' : \sin cb'M' = cb' : cM',$$

folglich wenn wir diese Gleichungen mit einander multipliciren:

$$2.\ 2)\ \sin a'b'M' : \sin cb'M' = a'M' \cdot cb' : a'b' \cdot cM'.$$

Aus dieser Gleichung und Gleichung (1. 1) erhalten wir

$$a'M' \cdot cb' : a'b' \cdot cM' = n : 1,$$

oder $$3.\ 3)\ a'M' \cdot cb' = n \cdot a'b' \cdot cM'.$$

Nun können wir, vermöge der oben angegebenen Gründe, annähernd setzen

$$a'M' = \alpha + r',\ cb' = c,\ a'b' = \alpha \text{ und } cM' = c + r'.$$

Hierdurch verwandelt sich die Gleichung (3. 3) in

$$4.\ 4)\ (\alpha + r') \cdot c = n \cdot \alpha \cdot (c + r')$$

oder $$cr' - nar' = nac - \alpha c = (n - 1)\, \alpha c.$$

Dividiren wir diese Gleichung durch das Product $\alpha \cdot c \cdot r'$, so geht dieselbe über in

$$5.\ 5)\ \frac{1}{\alpha} - n \cdot \frac{1}{c} = (n - 1) \cdot \frac{1}{r'}$$

Addiren wir diese Gleichung zu der oben erhaltenen Gleichung (5), so ergibt sich

$$10)\ \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a} = (n - 1) \cdot \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right),$$

aus welcher sich α finden läßt, da in derselben alle andern Buchstaben Bekanntes oder Gegebenes bezeichnen.

Setzen wir $a = \infty$, so wird α der Brennweite p gleich, und die letzte Gleichung verwandelt sich in diesem besonderen Falle in

$$11)\ \frac{1}{p} = (n - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right).$$

Ist die Linse gleichseitig, also $r = r'$, und nehmen wir $n = 3/2$ an, so ist $p = r$; ist die Linse planconvex, so ist einer der Radien, z. B. r′, gleich unendlich zu setzen, und daher $p = 2r$ u. dgl. m. — Hat man überhaupt aus der Gleichung (11) p bestimmt, so läßt sich die Gleichung (10) auch kürzer so schreiben:

$$12)\ \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a}.$$

Wir erhalten also für die Sammellinse genau dieselbe Gleichung, wie für den Hohlspiegel, und es müssen daher auch hier die in § 215 Anm. gezogenen Folgerungen gelten. Man wird also bei der Linse die Brennweite sehr nahe richtig erhalten, wenn man den Abstand mißt, in welchem sich das Bild eines entfernten Gegenstandes in der größten Deutlichkeit zeigt. — Setzen wir in der Gleichung (12) $a = 2p$, so wird auch $\alpha = 2p$. Wenn daher ein Gegenstand von der Linse um die doppelte Brennweite entfernt ist, so hat auch das Bild die nehmliche Entfernung von der Linse und folglich mit dem Gegenstande gleiche Größe. So lange aber der Gegenstand um mehr, als die doppelte Brenn-

weite von der Linse absteht, ist das Bild der Linie näher und folglich kleiner, als der Gegenstand; und wenn der Gegenstand um weniger, als die doppelte, aber um mehr, als die einfache Brennweite von der Linse entfernt ist, so ist das Bild weiter von der Linse entfernt und größer, als der Gegenstand.

Die Gleichungen (11) und (12) gelten auch für die Zerstreuungslinse, wenn man in denselben r und r' und folglich auch p negativ setzt. — Die Brennweite einer Zerstreuungslinse kann man empirisch durch folgendes Verfahren ohngefähr finden: Wenn man die Strahlen der Sonne auf eine Zerstreuungslinse parallel mit der Axe fallen läßt, so treten dieselben divergent aus der Linse so aus, daß ihre rückwärts fortgesetzten Verlängerungen sich im geometrischen Brennpunkte schneiden. Fängt man nun die austretenden Sonnenstrahlen auf einer weißen Wand auf, so erscheint auf derselben ein weißer Kreis, und wenn man die Linse der Wand so lange nähert oder von derselben entfernt, bis der Durchmesser dieses Kreises doppelt so groß ist, als der Durchmesser der Linse, so ist der Abstand der Linse von der Wand gleich dem Abstande des geometrischen Brennpunktes von der Linse, also gleich der Brennweite.

§. 217. Sphärische und chromatische Abweichung.

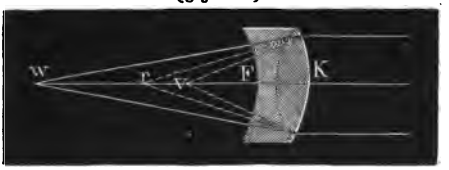
Wir haben im Vorhergehenden gesehen, daß die von einem leuchtenden Punkte auf eine Linse nahe an der Mitte fallenden Strahlen so gebrochen werden, daß sie entweder sich selbst, oder daß ihre Verlängerungen sich nahe in dem nehmlichen Punkte durchschneiden. Dieses gilt jedoch nicht mehr für die in größerer Entfernung von der Mitte auffallenden Strahlen. Man pflegt daher, wenn man deutliche Bilder erhalten will, die Linse mit einem Schirme zu bedecken, welcher in der Mitte eine kreisförmige Oeffnung hat und nur den nahe an der Mitte auffallenden Strahlen einen Durchgang gestattet, dagegen die Randstrahlen abhält. Aber auch die nahe an der Mitte auf die Linse fallenden Strahlen durchkreuzen sie nicht ganz genau, sondern nur ohngefähr in demselben Punkte. Da hiernach die von einem Punkte ausgehenden Strahlen bei ihrer engsten Vereinigung nicht wieder in einem mathematischen Punkte, sondern in einen kleinen Kreis concentrirt werden, so müssen die von einer Linie erzeugten Bilder an einer mehr oder weniger großen Undeutlichkeit leiden. Man nennt dies die sphärische Abweichung.

Eine noch beträchtlichere Undeutlichkeit der durch die Linse erzeugten Bilder entspringt aus dem Umstande, daß die das weiße Licht zusammensetzenden Strahlen eine verschiedene Brechbarkeit haben und folglich bei der Brechung durch die Linse sich in verschiedenen Punkten vereinigen. Der Vereinigungspunkt der am meisten brechbaren, violetten Strahlen muß offenbar am nächsten, der Vereinigungspunkt der am schwächsten brechbaren rothen Strahlen am weitesten hinter die Linse fallen. Das von einem weißen Gegenstande auf dunkelem Grunde durch die rothen Strahlen erzeugte Bild muß daher die anderen an Größe übertreffen. In der Mitte, da, wo die Bilder aller farbigen Strahlen sich decken, entsteht zwar aus der Vereinigung derselben wieder ein weißes Licht, aber am Rande überragt das rothe und demnächst das gelbe Bild die übrigen; es ist daher das Bild des weißen Gegenstandes von einem rothgelben Saume eingefaßt. In ähnlicher Art läßt sich zeigen, daß das Bild eines dunkelen, auf weißem Grunde befindlichen Gegenstandes eine bläulich violette Einfassung haben muß, wonach sich wohl hinreichend die farbigen Ränder erklären, welche man z. B. in nicht achromatischen Fernröhren an den durch Linsen erzeugten Bildern bemerkt. Da in Folge dieser farbigen Ränder das Bild sowohl im Ganzen, als auch in seinen Theilen scharfer Grenzen entbehrt, kann es auch keine vollkommene Deutlichkeit besitzen. Die

Ursache dieser Undeutlichkeit nennt man, da sie auf der Farbenzerstreuung beruht, die chromatische Abweichung.

So wie wir oben gezeigt haben, daß durch Verbindung eines Prisma's aus Kronglas (Spiegelglas) und eines Prisma's aus Flintglas (bleihaltiges Glas), deren brechende Winkel eine entgegengesetzte Lage haben, sich ein achromatisches Prisma herstellen läßt, indem das Flintglas mit dem Kronglas ohngefähr gleiches Brechungsvermögen, aber bedeutend stärkeres Zerstreuungsvermögen besitzt, so muß es offenbar auch möglich sein, durch Verknüpfung einer Sammellinse K, Fig. 262, aus Kronglas und einer Zerstreuungslinse F aus Flintglas eine achromatische Linse herzustellen. Um dieses noch deutlicher zu zeigen, wollen wir annehmen, die Sammellinse K vereinige für sich allein die violetten Strahlen in v, die rothen in r. Fügen wir nun zu derselben eine Zerstreuungslinse F aus Flintglas, welche eine größere Brennweite, als K hat und daher die Convergenz der durch K gebrochenen Strahlen nicht aufzuheben, sondern nur zu schwächen vermag, so wird sowohl der Vereinigungspunkt der violetten, als auch der rothen Strahlen jetzt weiter hinausrücken. Diese Fortrückung wird aber, da Flintglas violettes Licht nicht in gleichem, sondern in einem größeren Verhältnisse stärker, als Kronglas bricht, für die ersteren mehr, als für die letzteren betragen; es muß daher möglich sein, ein solches Verhältniß zwischen den Brennweiten beider Linsen aufzufinden, daß die Vereinigungspunkte der rothen und der violetten Strahlen in den nehmlichen Punkt w zusammenfallen, und hier ein weißes Licht entsteht.

(Fig. 262.)



Indem die violetten und rothen Strahlen sich in dem nehmlichen Punkte vereinigen, so gilt dieses noch nicht unbedingt für alle anderen farbigen Strahlen. Dieses würde nur dann der Fall sein, wenn für diese sämmtlich das Zerstreuungsvermögen des Flintglases zu dem des Kronglases in einem ganz gleichen Verhältnisse stände, was jedoch nicht stattfindet. Es ist daher auch nicht möglich, eine vollkommen achromatische Linse herzustellen. Man beschränkt sich vielmehr darauf, die Vereinigungspunkte der violetten und rothen Strahlen zusammenzubringen, wodurch die chromatische Abweichung, wenn auch nicht vollständig, doch größtentheils aufgehoben wird.

(Fig. 263.)

Häufig sind auch achromatische Linsen aus zwei biconvexen Kronglaslinsen und einer zwischen denselben befindlichen biconcaven Flintglaslinse zusammengesetzt, wie dieß Fig. 263 zeigt.

Ueber die sphärische Abweichung bemerken wir noch Folgendes: — Strahlen, welche von einem leuchtenden Punkte in der Axe einer Linse ausgehen und dieselbe in gleichem Abstande von dem optischen Centrum, also in einem Kreise treffen, welchen wir den Brechungskreis nennen wollen, vereinigen sich natürlich nach der Brechung genau in dem nehmlichen Punkte der Axe. Dieser Vereinigungspunkt hat jedoch für verschiedene Brechungskreise eine verschiedene Lage. Derselbe fällt, wenn der leuchtende Punkt um mehr als die Brennweite von der Linse absteht, bei biconvexen oder planconvexen Linsen näher an die Linse, als der Vereinigungspunkt der centralen Strahlen, und zwar um so mehr, je größer der Durchmesser des Brechungskreises ist.

Bei concavconvexen Linsen kann man den beiden Krümmungsradien ein solches Verhältniß geben, daß die sphärische Abweichung fast gänzlich aufgehoben wird, wenn die stärker gekrümmte Fläche gegen das hinreichend entfernte Object gewendet ist. Man nennt dergleichen Linsen aplanatische. Noch vollständiger läßt sich der Aplanatismus durch die zweckmäßige Verbindung zweier Linsen erreichen.

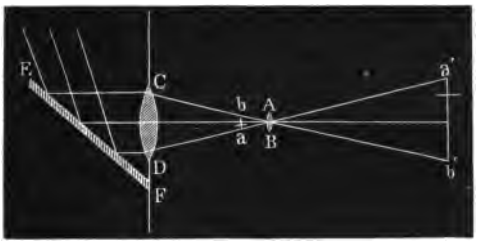
Während die Hohlspiegel von der chromatischen Abweichung gänzlich frei sind, leiden dieselben ebenfalls an der sphärischen Abweichung. Auch bei diesen fällt für den nehmlichen Reflexionskreis der Vereinigungspunkt der zurückgeworfenen Strahlen um so näher an den Spiegel, je größer der Durchmesser dieses Kreises ist. Die von demselben hervorgebrachten Bilder besitzen überdieß eine geringere Helligkeit, als die durch Linsen erzeugten Bilder, indem bei der Reflexion des Lichtes von Spiegeln ein größerer Theil desselben, als bei dem Durchgange durch Linsen absorbirt wird. Auch lassen sich die Bilder bei Hohlspiegeln weit weniger bequem, als bei Linsen, dem Auge sichtbar machen, weil bei Spiegeln die von einem leuchtenden Gegenstande auffallenden Strahlen nach der nehmlichen Seite hin zurückgeworfen werden, an welcher sich der Gegenstand befindet, während die durch die Linse gebrochenen Strahlen an der entgegengesetzten Seite austreten.

*§. 218. Das Sonnen- und das Knallgasmikroscop.

Nach dem Vorhergehenden erzeugt eine Linse von einem außerhalb ihrer Brennweite, aber nahe am Brennpunkte befindlichen Gegenstande ein vergrößertes physisches Bild, welches sich leicht auf einer weißen Wand auffangen läßt. Auf diesen Satz gründet sich die Einrichtung der in der Ueberschrift genannten Instrumente.

Der wesentlichste Theil des Sonnenmikroscopes ist eine kleine Linse, Objektivlinse, AB, Fig. 264, von kurzer Brennweite, welche von einem nahe am Brennpunkte befindlichen kleinen Objecte ab auf einer gegenüberliegenden weißen Wand ein stark vergrößertes Bild a'b' hervorbringt. Je kleiner die Brennweite dieser Linse und je weiter die Wand von derselben entfernt ist, um so größer muß das Bild a'b' ausfallen, wobei es sich nach dem in §. 216 Gesagten wohl von selbst versteht, daß das Object ab dem Brennpunkte der Linse AB näher gebracht werden muß, wenn man dasselbe in größerer Entfernung auffangen will. Je stärker das Bild vergrößert wird, um so mehr nimmt die Lichtstärke desselben und zwar im quadratischen Verhältnisse der Vergrößerung ab. Es muß daher das Object stark erleuchtet sein, wenn das Bild hinreichend hell ausfallen soll. Man bewirkt diese Erleuchtung beim Sonnenmikroscope durch die Sonnenstrahlen, welche von einem Spiegel EF zunächst auf eine Sammellinse CD auffallen und von dieser in ihrem Brennpunkte, in welchem sich das zu vergrößernde Object befindet, concentrirt werden. Indem überdieß der Beobachter und das Bild a'b' sich innerhalb eines verfinsterten Zimmers befinden, an dessen Außenseite vor einem mit einer Oeffnung versehenen Laden der Spiegel EF angebracht ist, so ist das durch keine anderen Lichteindrücke gereizte Auge um so empfindlicher für das Licht, welches es von dem auf der weißen Wand sich darstellenden Bilde a'b' erhält.

(Fig. 264.)



Das Knallgasmikroscop unterscheidet sich von dem Sonnenmikroscope dadurch, daß die Beleuchtung des Objectes nicht durch das Sonnenlicht, sondern durch das intensive Licht eines im Knallgasgebläse glühenden Kalkcylinders (Drummond's Kalklicht) bewirkt wird; dasselbe hat daher den großen Vorzug, daß es sich an jedem beliebigen Orte und zu jeder Tageszeit aufstellen läßt und von den Witterungsverhältnissen ganz unabhängig ist.

Je weiter die das Bild a'b' auffangende Wand von der Linse AB entfernt ist, um so mehr nimmt auch die Größe des Bildes zu, und es gibt keine Grenze, über welche sich die Vergrößerung nicht hinaustreiben ließe. Von dem kleinsten Gegenstande läßt sich bei hinreichender Entfernung der auffangenden Wand ein Bild von riesiger Größe herstellen. Allein mit der Vergrößerung wachsen auch die von der sphärischen und chromatischen Abweichung herrührenden Fehler des Bildes, und die Deutlichkeit und, wie wir schon oben gesehen haben, die Helligkeit des Bildes nehmen ab. Es darf daher die Vergrößerung, wenn man deutliche und hinreichend helle Bilder erhalten will, eine gewisse Grenze nicht überschreiten. Ueberhaupt stehen die Leistungen des Sonnen- oder Knallmikroscops denen der besseren gewöhnlichen Mikroscope, von welchen weiter unten die Rede sein wird, bedeutend nach.

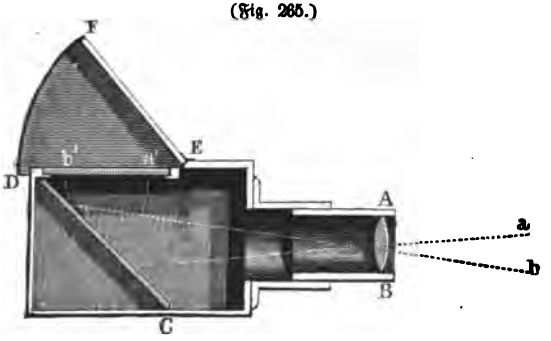
Auf gleichem Principe, wie die so eben besprochenen Mikroscope, beruht auch die Zauberlaterne (laterna magica), nur daß man bei derselben gewöhnlich statt einer kleinen Objectivlinse zwei größere Linsen anwendet, welche im Wesentlichen dasselbe leisten, wie eine Linse von kürzerer Brennweite, aber dem Bilde eine größere Helligkeit, wenn auch geringere Schärfe geben, indem zu den Fehlern, welche die eine veranlaßt, noch die der anderen hinzutreten. Da man bei der Zauberlaterne verhältnißmäßig nur schwache Vergrößerungen beabsichtigt, so reicht man auch mit dem Lichte einer gewöhnlichen Lampe aus, deren Strahlen von einem kleinen Hohlspiegel auf das durchscheinende Object, ein auf Glas gemaltes Bild, zurückgeworfen werden.

Die Zauberlaterne ist 1646 von Kircher und das Sonnenmikroscop 1738 von Lieberkühn erfunden worden.

§. 219. Die Camera obscura.

Während im Sonnenmikroscop eine Linse von einem in der Nähe ihres Brennpunktes befindlichen kleinen Objecte ein stark vergrößertes Bild hervorbringt, wird in der Camera obscura von entfernten Gegenständen durch eine Linse ein kleines Bild in der Nähe ihres Brennpunktes erzeugt. Die gewöhnlichste Einrichtung der Camera obscura ist die in Fig. 265 abgebildete.

(Fig. 265.)



Die von einem entfernten Gegenstande ab auf die Sammellinse AB divergirend auffallenden Strahlen werden durch die Brechung in der Linse convergent. Bevor sich dieselben jedoch wirklich vereinigen und von dem Gegenstande ab ein verkehrtes physisches Bild erzeugen, fallen dieselben auf den unter 45^0 geneigten Spiegel CD und werden von diesem so zurückgeworfen, daß das Bild a'b' auf eine mattgeschliffene Glastafel DE fällt, auf welcher sich die Umrisse desselben nachzeichnen lassen. Während nehmlich Strahlen, welche von einem leuchtenden Punkte ausgehen und divergent auf einen Spiegel fallen, auch nach der Zurückwerfung divergiren, so daß ihre Verlängerungen sich in einem hinter dem Spiegel liegenden Punkte schneiden, werden Strahlen, welche convergent auf einen ebenen Spiegel fallen und sich also hinter demselben schneiden würden, convergent zurückgeworfen, so daß sie sich in einem vor dem Spiegel liegenden Punkte vereinigen.

Endlich ist EF ein zur Abhaltung fremden Lichtes dienender Schirm.

Die Camera obscura ist um's Jahr 1650 von dem Neapolitaner Porta erfunden worden.

§. 220. Die Lichtbilder.

Im Jahre 1838 hat Daguerre in Frankreich die Kunst erfunden, das Bild, welches eine Sammellinse von einem entfernten Gegenstande in der Nähe ihres Brennpunktes erzeugt, durch eine chemische Einwirkung des Lichtes zu fixiren. Unmittelbar nach der Bekanntmachung von Daguerre's Erfindung hat Talbot in England, welcher sich schon vorher vielfach mit der Erzeugung von Lichtbildern beschäftigt hatte, ein Verfahren veröffentlicht, welches der Hauptsache nach noch gegenwärtig bei der Darstellung von Photographien am häufigsten angewandt wird.

Dasselbe besteht im Wesentlichen in Folgendem: Ein durchscheinendes Blatt Papier wird im Dunkeln mit einer dünnen Schicht von weißem Chlorsilber überzogen, welches sich, wie wir schon oben (§. 214) gesehen haben, im Lichte schwärzt, indem das Chlorsilber eine Zersetzung erfährt. Dieses Papier wird dann in der Camera obscura so angebracht, daß die von dem abzubildenden Gegenstande auf die Linse auffallenden und durch dieselbe gebrochenen Strahlen sich zu einem deutlichen Bilde des Gegenstandes auf dem photographischen Papier vereinigen. Indem nun die von mehr oder weniger intensivem Lichte getroffenen Stellen dieses Papiers sich mehr oder weniger schwärzen, die übrigen Stellen aber, auf welche durch die Linse in der Camera obscura gar kein oder nur sehr schwaches Licht gelangt, ihre weiße Farbe beibehalten, entsteht auf dem photographischen Papier ein sogenanntes negatives Bild, in welchem die hellen Parthien des abzubildenden Gegenstandes dunkel, die dunkeln hell erscheinen. Nachdem dieses negative Bild vollkommen deutlich zu Stande gekommen ist, muß dasselbe fixirt, d. h. gegen die weitere Einwirkung des Lichtes geschützt werden, was auf die Art geschieht, daß man dasselbe in die Lösung eines Salzes (unterschwefeligsaures Natron) taucht, in welcher das unzersetzt gebliebene Chlorsilber aufgelöst und abgewaschen wird. Nachdem dieses geschehen, läßt sich das negative Bild weiter zur Erzeugung positiver Bilder benutzen, indem man dasselbe mit der vorderen Seite auf ein anderes Blatt photographischen Papiers legt und dann die Rückseite desselben von den Sonnenstrahlen bescheinen läßt. Indem sich nun auf diesem zweiten Blatte photographischen Papieres die dunkeln Parthien des ersten Blattes hell, die hellen dunkel abbilden, erhält man ein Bild des Gegenstandes, in welchem die hellen Theile wieder hell, die dunkeln dunkel erscheinen. Das eine, in der Camera obscura dargestellte negative Bild läßt sich in der angegebenen Weise leicht zur Erzeugung mehrerer positiven Bilder benutzen.

Die Zeit, welche man das photographische Papier in der Camera obscura der Einwirkung des Lichtes aussetzen muß, wird sehr verkürzt, wenn man dem Chlorsilber etwas Brom- oder Jodsilber beimengt. Man pflegt das photographische Papier schon aus der Camera obscura zu entfernen, ehe noch die Einwirkung des Lichtes auf das Chlorsilber sichtbar geworden ist. Dieselbe tritt aber sofort hervor, das negative Bild wird sichtbar, wenn man das Papier, welches während einiger Secunden in der Camera obscura der Einwirkung des Lichtes ausgesetzt gewesen ist, auf eine Auflösung von Pyrogallussäure oder Eisenvitriol legt, indem diese Substanzen die vom Lichte getroffenen Stellen des das Papier überziehenden Chlorsilbers zersetzen, während die anderen Stellen unzerlegt bleiben. Nachdem das negative Bild in der oben im Haupttexte angegebenen Weise fixirt worden ist, wird dasselbe, um es möglichst durchscheinend zu machen, mit einer Mischung von geschmolzenem Wachs und Talg getränkt, ehe es zur Erzeugung positiver Bilder benutzt wird.

So wie auf Papier können auch auf Glasplatten, welche mit Chlor- oder Jodsilber überzogen worden sind, Lichtbilder erhalten werden.

Bei dem von Daguerre angewendeten Verfahren wird sofort ein positives Bild ohne vorherige Erzeugung eines negativen Bildes erhalten. Dasselbe besteht im Wesentlichen in Folgendem: Eine sorgfältig polirte, auf einer Seite versilberte Kupferplatte wird mit dieser Seite auf ein Gefäß gelegt, in welchem sich eine sehr verdünnte wässerige Auflösung von Chlorjod befindet und in dieser Lage so lange erhalten, bis die aus der Auflösung aufsteigenden Joddämpfe einen gleichmäßigen goldgelben Ueberzug von Jodsilber erzeugt haben. Hierauf bringt man die Platte, ohne sie der Einwirkung des Tageslichtes auszusetzen, in einer Camera obscura an die Stelle, an welcher von dem abzubildenden Gegenstande ein scharfes Bild entsteht. Die auf der Platte gebildete dünne Schicht von Jodsilber erleidet hier durch die Einwirkung des auffallenden Lichtes eine für das Auge noch nicht wahrnehmbare, aber durch das weitere Verfahren sichtbar zu machende Veränderung. Nachdem nehmlich die Platte einige Zeit (15 Secunden bis 2 Minuten, was von dem beim Jodiren angewendeten Verfahren abhängt,) der Einwirkung der Lichtstrahlen in der Camera obscura ausgesetzt gewesen ist, wird dieselbe über eine etwas erwärmte amalgamirte Metallplatte gebracht, welche man mit einigen Tropfen Quecksilber frisch eingerieben hat. Die von dieser Platte aufsteigenden Quecksilberdämpfe condensiren sich nun an der iodirten Silberplatte, aber nur an den durch die Einwirkung des Lichtes in der Camera obscura veränderten Stellen, und zwar um so stärker, je intensiveres Licht diese Stellen getroffen hat, während dagegen an den Stellen, auf welche gar keine Lichtstrahlen gefallen sind, kein Niederschlag stattfindet. Indem die äußerst kleinen weißen Quecksilbertröpfchen in der angegebenen Art auf der iodirten Silberplatte sich ablagern, stellen sie das Bild, welches auf derselben in der Camera obscura von dem gegenüberliegenden Gegenstande entstand, nach den Licht- und Schattenverhältnissen wieder her. Dieses Bild bedarf nun noch der Fixirung, welche auf ähnliche Weise, wie wir dieß oben für die Photographien angegeben haben, bewirkt wird.

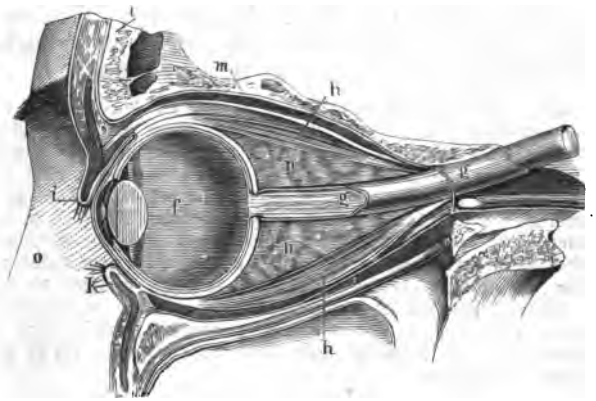
Die Betrachtung der Daguerreotypen wird sehr durch den spiegelnden Glanz derselben erschwert, was bei den Talbot'schen Photographien nicht der Fall ist, und worin ein wesentlicher Vorzug derselben besteht.

Wie wir oben gesehen haben, lagern sich die Quecksilberdämpfe am reichlichsten auf denjenigen Stellen der iodirten Silberplatte ab, welche die Einwirkung des Lichtes am stärksten erfahren haben. Aehnliches gilt auch von den Dämpfen anderer Flüssigkeiten, selbst des Wassers. Wenn man eine polirte Silberplatte, welche man mit einem durchbrochenen Schirme bedeckt hat, mehrere Stunden dem Sonnenlichte aussetzt und dann nach dem Erkalten der Platte dieselbe anhaucht, so schlagen sich die Dämpfe reichlicher an den von den Sonnenstrahlen getroffenen Stellen nieder, und man erhält so auf der Platte ein deutliches Abbild der in dem Schirme angebrachten Einschnitte.

Ausführlichere Belehrung über Daguerreotypie und Photographie gewähren die gesammten Naturwissenschaften. 2. Aufl. B. 1, S. 418 u. f.

§. 221. Der Bau des Auges.

(Fig. 266.)



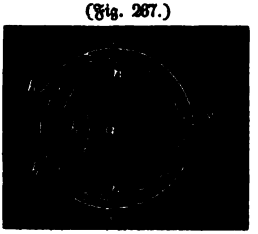
f Augapfel; g Sehnerv; h Augenmuskeln; i oberes Lid; k unteres Lid; l Stirnbein; m Dach der Augenhöhle; n Fettpolster der Augenhöhle; o Nase.

Wir berücksichtigen hier nur den für das Sehen wichtigsten Theil des Auges, den nahe kugelförmigen Augapfel, welcher in einer mit Fett und Zellgewebe ausgefütterten Höhle, der Augenhöhle, liegt und durch sechs Muskeln in Bewegung gesetzt wird. Wir unterscheiden an dem

Augapfel 5 Häute, die weiße Haut, die Hornhaut, die Aderhaut, die Regenbogenhaut und die Netzhaut, und drei Feuchtigkeiten, die wässerige Feuchtigkeit, die Glasfeuchtigkeit und die Krystalllinse.

Die harte oder weiße Haut ww, Fig. 267, schließt den Augapfel äußerlich ein und geht vorn in die etwas mehr convexe und durchsichtige Hornhaut hh über. Zunächst unter der harten Haut befindet sich die Aderhaut aa, welche aus einem Geflecht sehr feiner Gefäße besteht und an ihrer inneren Seite mit einer schwarzen schleimartigen Substanz überzogen ist, welche eine Reflexion der Lichtstrahlen im Innern des Auges verhindert. Personen, denen dieser schwarze Stoff fehlt, die sogenannten Albino's, haben eine rothe Pupille und können kein helles Licht vertragen. Da, wo die harte Haut in die Hornhaut übergeht, tritt an die Stelle der Aderhaut die bei verschiedenen Personen verschieden gefärbte Regenbogenhaut rr, welche in der Mitte eine Oeffnung, die Pupille, hat und das Auge in zwei Kammern scheidet, eine größere hintere g und eine kleinere vordere f. Unter der Aderhaut befindet sich endlich die Netzhaut nn, welche als eine Ausbreitung des an der hinteren Seite in den Augapfel eintretenden Sehnervs s anzusehen ist. Von den beiden so eben erwähnten Kammern ist die vordere f mit einer etwas salzigen, wässerigen Feuchtigkeit, die hintere g fast ganz mit einer ebenfalls durchsichtigen, aber eiweißartigen Substanz, dem sogenannten Glaskörper, ausgefüllt. Vorn in einer Vertiefung des Glaskörpers liegt die Krystalllinse k, welche aus einer etwas festeren Masse besteht, als dieser. Die genannten drei durchsichtigen Substanzen brechen das Licht etwas stärker, als Wasser, die Krystalllinse am stärksten.

(Fig. 267.)



Die von einem nicht zu nahen Gegenstande auf die Hornhaut auffallenden und durch die Pupille in das Innere des Auges gelangenden Lichtstrahlen werden von der Hornhaut, der wässerigen Feuchtigkeit, der Krystalllinse und dem Glaskörper so gebrochen, daß sie ein kleines und verkehrtes Bild des Gegenstandes auf der Netzhaut erzeugen. Der auf die Netzhaut durch die sich vereinigenden Lichtstrahlen ausgeübte Reiz ruft in uns die Empfindung des Sehens hervor, so wie überhaupt jeder Reiz des Sehnervs, z. B. durch einen heftigen Stoß in der Nähe des Auges oder durch den electrischen Schlag, mit einer Lichtempfindung verbunden ist.

Daß wir die Gegenstände aufrecht sehen, obschon das auf die Netzhaut fallende Bild eine umgekehrte Lage hat, erklärt sich leicht daraus, daß wir ja nicht dieses Bild sehen, sondern das Sehen nur durch die Affection hervorgerufen wird, welche die Netzhaut durch die auf dieselbe fallenden Lichtstrahlen erleidet.

Wir sehen mit beiden Augen nur einfach, wenn die Axen derselben auf den nehmlichen Gegenstand gerichtet sind, und daher symmetrische Stellen der Netzhaut in beiden den nehmlichen Lichteindruck erfahren*). Wir sehen

*) In einem sehr lehrreichen Aufsatze über Doppelsehen in Pogg. Ann. d. Ph. B. 96 S. 591 hat Hr. Prof. Emsmann neben den Werken anerkannter Physiker auch dieses Lehrbuchs gedacht. Auf die gegen obige Stelle erhobenen Einwürfe erlaubt sich der Verfasser hier zu erwiedern: Thatsache ist, daß wir, abgesehen von krankhaften Zuständen

dagegen in der That doppelt, wenn diese Bedingung nicht erfüllt wird. Betrachten wir einen einige Fuß entfernten Gegenstand, z. B. eine Stelle an der Wand des Zimmers, so sind beide Augenaxen auf diesen Gegenstand gerichtet. Bringen wir nun zwischen denselben und das Gesicht in der Entfernung von etwa einem Fuß einen schmalen Körper, z. B. den senkrecht gehaltenen Finger, so erscheint der Finger doppelt. Wir sehen denselben dagegen nur einfach, wenn wir ihm unsere Aufmerksamkeit zuwenden und daher die Augenaxen auf denselben richten. Eben so erscheint ein schmaler Gegenstand doppelt, wenn wir auf das eine Auge einen Druck ausüben und so verhindern, daß beide Augenaxen sich auf den nehmlichen Punkt richten.

§. 222. Bedingungen des deutlichen Sehens.

Das deutliche Sehen hängt wesentlich von der Beschaffenheit des auf der Netzhaut entstehenden Bildes ab und ist vorzüglich an folgende Bedingungen geknüpft:

1) Das auf der Netzhaut entstehende Bild darf nicht zu klein sein. Die Größe dieses Bildes hängt von dem Gesichtswinkel, d. h. von dem Winkel ab, welchen die von dem Auge nach den äußersten Grenzen des gesehenen Gegenstandes gezogenen Linien einschließen. Der Gesichtswinkel wird um so kleiner, je kleiner der Gegenstand und je weiter derselbe von dem Auge entfernt ist. Geht der Gesichtswinkel eines Gegenstandes unter eine gewisse Grenze herab, so vermögen wir denselben nicht mehr wahrzunehmen. So verschwindet ein in der Luft schwebender Vogel für unsere Wahrnehmung, wenn mit der Entfernung desselben von unserem Auge der Gesichtswinkel allzu klein geworden ist.

Dieser Grenzwerth des Gesichtswinkels ist für stark erhellte Gegenstände kleiner, als für schwach erleuchtete oder dunkele Gegenstände. Wir vermögen die Fixsterne wegen ihres sehr intensiven Lichtes zu sehen, obschon der scheinbare Durchmesser derselben oder, was das nehmliche sagen will, der Gesichtswinkel, unter welchem sie uns erscheinen, noch lange keine Secunde beträgt. Bei einem nur mäßig erleuchteten Gegenstande kann man dagegen als äußerste Grenze der Sichtbarkeit einen Gesichtswinkel von ohngefähr einer halben Minute annehmen*).

---

des Auges, beim Sehen in die Ferne die fernen Gegenstände, welches auch ihre gegenseitige Lage sein mag, z. B. die zur Winterszeit entlaubten feinen Zweige eines Baumes niemals doppelt sehen. Beim Sehen in die Ferne sind die Axen der Augen nahezu parallel, und die Bilder desselben Gegenstandes in beiden Augen fallen an die nehmliche, rechte oder linke, Seite und in gleiche Entfernung von den Augenaxen. Der gleichzeitige und übereinstimmende Reiz dieser entsprechenden Stellen der Netzhaut in beiden Augen ruft also in uns die Vorstellung eines Gegenstandes hervor. Es erscheint hiernach als wahrscheinlich, daß wir auch beim Sehen in der Nähe Gegenstände einfach erblicken, für welche diese Bedingung erfüllt ist. — Der Verfasser ist jedoch außer anderen Gründen wegen seiner angegriffenen Augen nicht in der Lage, hierüber eigene Versuche anstellen zu können.

*) Der Sinus und die Tangente eines Winkels von $1''$ sind sehr nahe $= 1/206265$. Da sich nun die Sinus und Tangenten kleiner Winkel nahezu wie die Winkel selbst verhalten, so ist annähernd sin und tang $1' = 1/3438$ und sin und tang $1^0 = 1/57$. — Da hiernach ohngefähr sin und tang $1/2' = 1/6876$ ist, so fängt ein mäßig erleuchteter Gegenstand von 1 Fuß Durchmesser an, für das Auge zu verschwinden, wenn seine Entfernung über eine Viertelmeile beträgt, und ein kleiner Gegenstand verschwindet in der deutlichen Sehweite, welche wir $= 100$ Linien setzen können, wenn sein Durchmesser weniger, als $1/70$ Linie beträgt.

2) Die Lichteindrücke im Auge dürfen nicht von einer zu kurzen Dauer sein, wenn dieselben deutlich wahrgenommen werden sollen. Die hierzu erforderliche Zeit wird jedoch durch die Stärke des Lichtes bedingt. So nehmen wir z. B. den Blitz oder den electrischen Funken trotz ihrer äußerst kurzen Dauer sehr deutlich wahr, während wir eine abgeschossene Flintenkugel nicht zu sehen vermögen. — Andererseits dauert die Empfindung des Lichteindrucks noch eine kurze Zeit, bei mäßiger Stärke desselben etwa eine Viertelsecunde, fort, nachdem die ihn erzeugende Ursache aufgehört hat. Wir sehen daher, wenn z. B. eine glühende Kohle im Kreise rasch genug umgeschwungen wird, (daß sie einen Umlauf in kürzerer Zeit, als einer Viertelsecunde macht,) nicht mehr den einzelnen bewegten Körper, sondern einen leuchtenden Ring. Eben so erscheint uns der Blitz, der electrische Funke, als eine Linie u. dgl. m. Auf demselben Grunde beruhen auch die Erscheinungen der sogenannten Thaumatropie. Malt man z. B. auf die eine Seite einer Scheibe einen Käfig, auf die andere einen Vogel und dreht die Scheibe rasch um eine in ihrer Ebene liegende Axe, so erblickt man den Vogel im Käfig*).

3) Das Bild eines Gegenstandes muß auf die Netzhaut fallen, wenn wir denselben deutlich sehen sollen. Wie wir oben in §. 216 gesehen haben, fällt das Bild eines vor einer Linse befindlichen Gegenstandes um so weiter hinter den Brennpunkt derselben, je mehr der Gegenstand der Linse genähert wird. Da wir nun sowohl fernere, als nähere Gegenstände, deutlich zu sehen vermögen, so muß, damit die angeführte Bedingung erfüllt wird, irgend etwas im Auge veränderlich sein. Daß wirklich bei abwechselndem Sehen in der Ferne und in der Nähe im Auge eine Veränderung vor sich geht, zeigt schon der Umstand, daß wir nach anhaltendem Sehen in die Weite nicht sofort nahe Gegenstände deutlich zu erkennen vermögen und umgekehrt. Diese Veränderung besteht (nach den Untersuchungen von Kramer in Groningen) darin, daß beim Sehen in der Nähe sich die Pupille (in ähnlicher Art wie bei der Betrachtung hell erleuchteter Gegenstände) zusammenzieht und in Folge eines von der Regenbogenhaut auf die vordere Fläche der Krystalllinse ausgeübten Druckes diese eine stärkere Krümmung annimmt und also die Lichtstrahlen stärker bricht. — Hiermit stimmt auch die Erfahrung überein, daß nur das Sehen in der Nähe, niemals das Sehen in die Weite mit Anstrengung und bei übermäßiger Anstrengung mit Nachtheil für das Auge verbunden ist.

Das Vermögen des Auges, sich für nahe Gegenstände zu accommodiren, hat jedoch eine gewisse Grenze. Wir vermögen Gegenstände nicht mehr deutlich zu sehen, wenn sie unserem Auge zu nahe gebracht werden. Der kleinste Abstand, in welchem wir noch deutlich zu sehen vermögen, heißt die Sehweite. Sie beträgt für ein gesundes Auge ohngefähr 8 bis 10 Zoll.

Bei den Augen älterer Personen ist es sehr gewöhnlich der Fall, daß das Accommodationsvermögen, mit den Jahren zunehmend, sich verringert hat, so daß dieselben nur Gegenstände in beträchtlicher Entfernung deutlich zu sehen vermögen. Man nennt dergleichen Augen weitsichtig. Ein weitsichtiges Auge vermag eine kleine Schrift nicht zu lesen, weil in der Entfernung, in welcher dasselbe deutlich sieht, die Bilder der Buchstaben auf der Netzhaut

*) Ferner gehören hierher die sogenannten stroboscopischen Scheiben, optischen Drehscheiben, deren nähere Beschreibung wir jedoch übergehen, da sie im Wesentlichen nichts Neues lehren und keinen besonderen Nutzen gewähren.

zu klein ausfallen. Nähert der Weitsichtige die Schrift dem Auge, um die Gesichtswinkel der Buchstaben und die Bilder derselben auf der Netzhaut zu vergrößern, so vereinigen sich die von dem nehmlichen Punkte ausgehenden Strahlen nicht mehr in einem Punkte auf der Netzhaut, sondern hinter derselben, und die auf der Netzhaut entstehenden Bilder entbehren daher der Deutlichkeit. Denn das weitsichtige Auge vermag bei seinem beschränkten Accommodationsvermögen nur die von entfernten Gegenständen ausgehenden und also mit schwacher Divergenz auf das Auge fallenden Strahlen auf der Netzhaut selbst zu vereinigen. Der Weitsichtige muß sich daher, um nahe Gegenstände deutlich zu sehen, d. h. die Vereinigungspuukte stark divergirender Strahlen auf die Netzhaut zu bringen, convexer Brillengläser bedienen, durch welche die Divergenz der einfallenden Strahlen geschwächt wird.

Der entgegengesetzte Fehler von der Weitsichtigkeit ist die Kurzsichtigkeit. Das kurzsichtige Auge vermag ferne Gegenstände nicht deutlich zu sehen; denn dasselbe bricht schon im Zustande der Ruhe, (ohne daß durch vermehrte Zusammenziehung der Regenbogenhaut die Krümmung der vorderen Fläche der Krystalllinse noch verstärkt worden ist,) das Licht so stark, daß die von fernen Gegenständen ausgehenden und mit schwacher Divergenz in das Auge gelangenden Strahlen sich nicht auf, sondern vor der Netzhaut vereinigen. In dem kurzsichtigen Auge kommen nur die Bilder naher Gegenstände, von denen stark divergirende Strahlen auf dasselbe fallen, auf die Netzhaut selbst zu liegen. Der Kurzsichtige muß sich daher beim Sehen in die Weite concaver Brillengläser bedienen, welche die Divergenz der von fernen Gegenständen in das Auge gelangenden und schwach divergirenden Strahlen verstärken.

Da das Sehen in der Nähe für das weitsichtige Auge mit Anstrengung verbunden ist, so darf der Weitsichtige mit der Benutzung der Brille für das Lesen, Schreiben u. s. w., wenn er nicht durch übermäßige Anstrengung seinen Augen schaden will, nicht zu lange zögern. Der Kurzsichtige wird dagegen, wenn er den Gebrauch der Brille verschiebt, seinen Augen niemals schaden, da eine Anstrengung des Auges für das Sehen in die Ferne überhaupt nicht existirt. Der Kurzsichtige kann vielmehr, so lange er sich keiner Brille bedient, die Hoffnung hegen, daß mit zunehmendem Lebensalter sich der Fehler seines Auges verbessern wird, da mit den Jahren die Sehweite des Auges, wenn es nicht durch beständiges Lesen, Schreiben u. dgl. genöthigt wird, fortwährend in der Nähe zu sehen, sich vergrößert.

Die Brillen sind ums Jahr 1300 in Italien erfunden worden.

Da das Wasser das Licht beinahe eben so stark bricht, als die Feuchtigkeiten im Auge, so vermögen wir unter Wasser nicht deutlich zu sehen, auch die kurzsichtigsten Augen sind im Wasser noch allzu weitsichtig. Bei den im Wasser lebenden Thieren, z. B. den Fischen, hat die Krystalllinse sehr starke Krümmungen.

4) Das Bild auf der Netzhaut muß deutlich sein; es darf nicht wesentlich an der sphärischen oder chromatischen Abweichung leiden. Daß wir die Gegenstände ohne farbige Ränder sehen, wird dadurch begreiflich, daß das Auge eben so, wie eine achromatische Linse, aus Substanzen von verschiedenem Brechungsvermögen zusammengesetzt ist. Hierzu kommt noch, daß die Pupille nur die nahe an der Axe einfallenden Strahlen auf die

Netzhaut gelangen läßt, ein Umstand, durch welchen, so wie durch die Krümmungen der Krystalllinse, auch die sphärische Abweichung beseitigt wird.

5) Das Bild auf der Netzhaut muß hinreichend hell sein. Es darf weder eine zu große, noch eine zu geringe Helligkeit besitzen, wenn ein deutliches Sehen stattfinden soll. Das Auge besitzt jedoch in dieser Hinsicht eine außerordentliche Geschmeidigkeit. Wir vermögen z. B. beim Sonnenlichte und beim fünftausendmal schwächeren Lichte einer einen Fuß entfernten Kerze, ja selbst bei dem achthunderttausendmal schwächeren Lichte des Vollmondes zu lesen.

Wird das Auge durch ein starkes Licht gereizt, so zieht sich die Pupille zusammen und läßt also eine kleinere Menge Lichtstrahlen auf die Netzhaut gelangen; dagegen dehnt sich die Pupille im Dunkelen aus und läßt mehr Licht ins Innere des Auges eintreten. Indeß ist die hierdurch bewirkte Vermehrung oder Verminderung nur eine beschränkte, und wir vermögen weder bei zu starkem, noch bei zu schwachem Lichte Gegenstände deutlich zu erkennen. Hat das Auge einige Zeit den Reiz eines stärkeren Lichtes erfahren, so ist es hierdurch für schwächeres Licht unempfindlicher geworden. Wenn wir z. B. aus dem hellen Tageslichte plötzlich ins Dunkele kommen, so vermögen wir die Gegenstände nicht zu unterscheiden, welche wir nach längerem Verweilen im Dunkeln deutlich zu erkennen im Stande sind. Nachdem die Netzhaut sich gleichsam von dem früheren starken Lichtreize erholt hat, nimmt ihre Empfindlichkeit für die schwächeren Lichteindrücke allmählig zu.

Daß die Lichtstrahlen, welche von einem innerhalb der deutlichen Sehweite befindlichen Punkte ausgehen, sich nicht wieder in einem Punkte auf der Netzhaut vereinigen, zeigt der folgende von Scheiner ums Jahr 1650 angegebene Versuch: Macht man in ein Blatt Papier zwei feine Oeffnungen sehr nahe neben einander, in einem gegenseitigen Abstande, welcher kleiner, als der Durchmesser der Pupille ist, und hält dieselben dicht vor das Auge, so sieht man eine feine Spitze, wenn diese sich innerhalb der deutlichen Sehweite befindet, doppelt, indem die durch die feinen Oeffnungen hindurchgehenden Lichtstrahlen die Netzhaut an zwei verschiedenen Stellen treffen; man sieht dagegen die Spitze einfach, wenn dieselbe hinreichend vom Auge entfernt wird.

Obschon das Auge von der chromatischen Abweichung in so weit frei ist, daß wir für gewöhnlich an weißen Gegenständen, welche wir betrachten, keine farbigen Ränder wahrnehmen, so ist doch, wie schon Frauenhofer gezeigt hat und spätere Untersuchungen bestätigt haben, das Auge nicht vollkommen achromatisch. Eben so wird nach neueren Untersuchungen die sphärische Abweichung durch die Pupille, welche die Randstrahlen abhält, zwar vermindert, aber nicht vollständig aufgehoben. Da hiernach die von einem leuchtenden Punkte durch die Pupille in das Auge gelangenden Strahlen sich nicht genau wieder in einem Punkte auf der Netzhaut vereinigen, sondern über eine kleine Fläche ausbreiten, so müssen offenbar die Umrisse der Bilder, welche von hellen Gegenständen auf der Netzhaut entstehen, eine kleine Erweiterung erleiden und daher helle Gegenstände auf dunkelem Grunde etwas größer, dunkele Gegenstände auf hellem Grunde etwas kleiner erscheinen. Man pflegt diese Erscheinung, bei welcher vielleicht auch noch andere Ursachen mitwirken, mit dem Namen der Irradiation zu bezeichnen. Auf derselben beruht es, daß wir den scheinbaren Durchmesser der Sonne für größer, als den des Mondes halten, obschon beide nahezu gleiche Größe haben, ja sogar der scheinbare Durchmesser des Mondes, wenn derselbe sich in der Erdnähe befindet, den der Sonne noch übertrifft, wie schon aus dem Umstande hervorgeht, daß bei totalen Sonnenfinsterniffen uns die Sonne durch den Mond ganz verdeckt wird.

Von Augenkrankheiten erwähnen wir den grauen Staar, welcher in einer Verdunkelung der Krystalllinse besteht und durch Herausnehmen oder Niederdrücken der Krystalllinse geheilt werden kann, welche dann durch ein stark converges Brillenglas ersetzt wird, und den schwarzen Staar, welcher in der Regel unheilbar ist und in einer Lähmung der Sehnerven besteht.

*§. 223. Physiologische Farben.

Was wir so eben für die Netzhaut im Ganzen angegeben haben, gilt auch für einzelne Theile derselben. Betrachten wir z. B. in einem Zimmer ein Fenster in einiger Entfernung mit unverwendeten Augen und richten dieselben dann plötzlich auf eine schwach erleuchtete Wand, so zeigt sich uns auf derselben ein dunkeler Fleck von der Gestalt des Fensters und in demselben die Fenstersprossen, als helle Linien. Der Theil der Netzhaut, auf welchen vorher das Bild des Fensters fiel, hat durch den starken Lichtreiz an Empfindlichkeit verloren, mit Ausnahme der von den dunkelen Fenstersprossen im Bilde bedeckten Stellen.

Ist das Auge durch eine bestimmte Strahlengattung, z. B. durch rothes Licht, gereizt worden, so wird hierdurch seine Empfindlichkeit vorzugsweise für diese Strahlengattung geschwächt. Legt man einen Streifen Seide oder Papier von einer recht reinen und lebhaften Farbe, z. B. einen rothen Streifen, auf ein weißes Blatt Papier, betrachtet denselben einige Zeit aufmerksam und nimmt ihn dann weg, ohne die Richtung der Augen zu ändern, so erscheint die vorher von dem rothen Streifen bedeckte Stelle des weißen Papiers mit der complementären Farbe, also grün. Indem nehmlich die Netzhaut durch den längere Zeit anhaltenden Reiz des rothen Lichtes an Empfindlichkeit für dasselbe verloren hat, muß der Eindruck der übrigen farbigen, von der weißen Fläche ausgehenden Strahlen um so lebhafter hervortreten, und also die complementäre Farbe erscheinen. Wendet man statt eines rothen einen grünen Streifen Seide oder Papier an, so entsteht ein rothes Nachbild. Eben so rufen die anderen complementären Farben: Orange und Blau, Gelb und Violett, sich gegenseitig hervor. Man nennt diese Farbenerscheinungen subjective oder physiologische.

Auf gleichem Grunde beruht der folgende leicht anzustellende Versuch. Stellt man in einem übrigens finsteren Zimmer zwei Lichter so auf, daß sie von einem undurchsichtigen Körper, z. B. einem Buche, zwei aneinander grenzende Schatten an eine gegenüberliegende weiße Wand werfen, und hält nun vor das eine Licht eine z. B. roth gefärbte Glasscheibe, so erscheint natürlich der Schatten, welcher nur von den durch das gefärbte Glas hindurchgegangenen Strahlen erleuchtet wird, roth; aber zugleich erscheint der andere Schatten grün, obschon derselbe durch weißes Licht erleuchtet wird und überhaupt gar kein grünes Licht angewendet worden ist.

Eben so erscheinen Theile des Himmels, welche man zwischen den in lebhaftem Abendrothe gerötheten Wolken hindurch erblickt, grün. Fällt in ein Zimmer das helle weiße Mondlicht und ist das Zimmer zugleich durch das gelbliche Licht einer nicht zu stark leuchtenden Kerze erhellt, so erblickt man neben gelblichen auch bläuliche Schatten u. dgl. m.

Wir haben uns oben darauf beschränkt, die am meisten verbreitete Ansicht über die Entstehung der physiologischen Farbenerscheinungen mitzutheilen; wir wollen jedoch nicht unerwähnt lassen, daß dieselbe nicht unbedingt von allen Physikern getheilt wird, indem einige die angeführten Erscheinungen aus einer eigenen Thätigkeit der Netzhaut zu erklären suchen. Auf dieser dürften allerdings diejenigen Farbenerscheinungen beruhen, welche man bemerkt, wenn man die Augen schließt, nachdem dieselben den Reiz eines sehr starken Lichtes, z. B. des Sonnenlichtes, erfahren haben.

Endlich wollen wir noch bemerken, daß die Zusammenstellung complementärer Farben, roth und grün, orange und blau, gelb und violett, einen angenehmen, die Zusammenstellung nicht complementärer Farben dagegen einen unangenehmen Eindruck im Auge hervorbringt, und zwar das letztere um so mehr, je lebhafter diese Farben sind.

*§. 224. Beurtheilung der Entfernung und Größe gesehener Gegenstände.

Lichtstrahlen, welche so in's Auge gelangen, daß sie in Folge der Brechung, welche sie durch die verschiedenen Feuchtigkeiten des Auges erleiden, sich zu einem Bilde auf der Netzhaut vereinigen, rufen durch den auf die Netzhaut und den Sehnerven ausgeübten Reiz in uns die Vorstellung von außer uns befindlichen Gegenständen hervor. Diese Vorstellungen sind ohne Zweifel eine Folge der schon in der frühesten Kindheit durch den Tastsinn gesammelten Erfahrungen, daß einem bestimmten Lichteindrucke im Auge auch das Vorhandensein eines bestimmten körperlichen Gegenstandes außer uns entspricht. Nur die Zeugnisse des Tastsinnes vermögen uns Gewißheit über das Vorhandensein von Gegenständen außer uns zu gewähren; das Auge kann uns hierüber keine volle Sicherheit geben, da die Affection desselben die nehmliche ist, es mögen die auf der Netzhaut sich zu einem Bilde vereinigenden Strahlen wirklich direct von einem Gegenstande ausgegangen oder auf andere Art, z. B. durch Reflexion von einem Spiegel, in's Auge gelangt sein.

Die Gestalt der Gegenstände ist uns durch die Gestalt des Bildes auf der Netzhaut gegeben. Die Größe, welche wir denselben beilegen, die Entfernung, in welche wir sie versetzen, ist weniger ein unmittelbar Gegebenes, als vielmehr ein Produkt unseres Urtheils und eben darum auch mehr dem Irrthume unterworfen. Obschon die Bilder im Auge eben sowohl für nähere, als für entferntere Gegenstände auf die Netzhaut fallen, so unterscheiden wir doch mehrentheils mit Leichtigkeit und Sicherheit die verschiedene Entfernung, in welcher sich dieselben wirklich befinden. Bei nahen Gegenständen findet unser Urtheil über die Entfernung in der Größe des Winkels, welchen die auf den nehmlichen Gegenstand gerichteten Axen der beiden Augen bilden, eine Unterstützung. Diese fehlt uns aber, und wir irren weit eher über die Entfernung, in welcher sich ein Gegenstand befindet, wenn wir ihn nur mit einem Auge betrachten. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man in der Mitte des Zimmers einen Ring an einem feinen Faden aufhängt und sich dann so stellt, daß man die Oeffnung des Ringes nicht sehen kann. Versucht man nun mit einem einige Fuße langen, am Ende hakenförmig gebogenen Stabe die Oeffnung des Ringes zu treffen, so wird dieses leicht gelingen, wenn man mit beiden Augen sieht; man wird dagegen weit öfter fehlen, wenn man ein Auge schließt.

Dieses aus dem Sehen mit beiden Augen entspringende Hilfsmittel zur Abschätzung der Entfernung gesehener Gegenstände reicht jedoch nur für mäßige Entfernungen aus. Wir beurtheilen größere Entfernungen vorzüglich nach der Menge und Lage der innerhalb derselben befindlichen Gegenstände. Unser Urtheil ist daher unsicher, wenn es an solchen Gegenständen gänzlich fehlt. Deßhalb ist es so schwer, die Höhe, in welcher ein Vogel schwebt, richtig abzuschätzen. Eben so halten wir einen breiten Fluß gewöhnlich für schmaler, als derselbe wirklich ist.

Nach der Größe des Gesichtswinkels und der Entfernung, in welche wir einen Gegenstand versetzen, schätzen wir die wirkliche Größe desselben. Wir sehen ein wenige Schritte von uns entferntes Kind unter einem größeren Gesichtswinkel, als einen in der doppelten oder dreifachen Entfernung befindlichen Mann, und wir nennen dennoch den Mann groß, das Kind klein, weil wir zugleich die Entfernung berücksichtigen, in welcher sich beide befinden.

In Hinsicht horizontaler Entfernungen besitzen wir durch die beständige Uebung eine bedeutende Sicherheit. Anders verhält es sich jedoch mit senkrechten Entfernungen. Wir sind überrascht, daß, von einem Thurme gesehen, sich uns alle am Fuße desselben befindlichen Gegenstände unter so kleinen Gesichtswinkeln zeigen, während wir bei einem gleichen Abstande in der horizontalen Fläche in der nehmlichen Verkleinerung des Gesichtswinkels gar nichts Befremdliches finden. — Eben so erscheinen uns Menschen, welche wir von der ebenen Erde aus auf der Höhe eines Thurmes erblicken, auffallend klein.

Aber auch in horizontaler Richtung gesehene Gegenstände erscheinen uns kleiner, als sie wirklich sind, wenn wir die Entfernung, in welcher sich dieselben befinden, zu klein abschätzen. Dieß ist z. B. bei Menschen, Pferden u. dgl. der Fall, welche wir am jenseitigen Ufer eines breiten Flusses erblicken. — Fahren wir mit großer Schnelligkeit auf der Eisenbahn, so vermögen wir auf dem Felde neben der Bahn die einzelnen Grashalme, Kornähren u. s. w. nicht mehr zu unterscheiden; das ganze Feld stellt sich uns wie eine geglättete Fläche dar, und die in einiger Entfernung auf demselben befindlichen Menschen und Thiere erscheinen uns (eben so, wie diejenigen, welche wir jenseits einer breiten Wasserfläche erblicken,) kleiner, als sie wirklich sind.

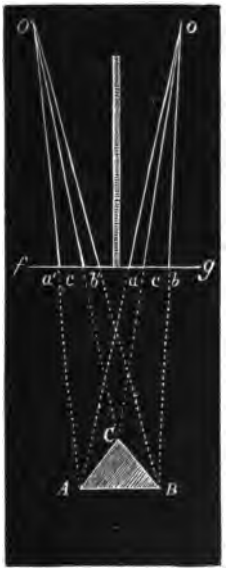
Auf ganz gleichem Grunde beruht die Täuschung, daß uns die Sonne und der Mond am Horizonte viel größer, als am hohen Himmel erscheinen, obschon sie sich uns in dem einen, wie im anderen Falle unter ganz gleichen Gesichtswinkeln zeigen, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man diese Winkel mißt. — Wir erblicken nehmlich die Sonne, den Mond und die übrigen Gestirne nicht nach Verhältniß ihrer wirklichen Entfernungen im Weltraume schwebend, sondern dieselben scheinen uns wie an das Himmelsgewölbe befestigt. Dieses aber erscheint unserem Auge nicht von halbkugelförmiger, sondern von elliptischer Gestalt; die über uns liegenden Theile desselben scheinen uns näher zu sein, als die am Horizonte befindlichen. Es erscheinen uns daher Sonne und Mond beim Auf- und Untergange ferner, als wenn sie am hohen Himmel stehen. Wenn aber zwei Gegenstände sich unter dem nehmlichen Gesichtswinkel zeigen, so scheint uns derjenige der größere zu sein, welchen wir für den entfernteren halten. Es müssen daher auch die Sonne und der Mond uns am Horizonte größer, als am hohen Himmel erscheinen. Ganz dasselbe gilt von den Sternbildern; die sieben Sterne des großen Bären (Wagens) scheinen weiter aus einander zu stehen, wenn wir dieses Sternbild in der Nähe des Horizontes, als wenn wir dasselbe in der Nähe des Zeniths erblicken.

Bei der Unterscheidung der Erhabenheiten und Vertiefungen einer Fläche, so wie überhaupt der Körperlichkeit eines Gegenstandes, wird unser Urtheil vorzüglich durch die Vertheilung von Schatten und Licht geleitet. Bei nahen Gegenständen gewährt auch die Ungleichheit der Bilder in beiden Augen unserem Urtheile eine Unterstützung. So wie nehmlich die Zeichnung eines Körpers ungleich ausfällt, wenn man denselben von verschiedenen Standpunkten aus aufnimmt, so muß auch die Zeichnung eines nicht zu fernen Gegenstandes verschieden ausfallen, je nachdem man denselben blos mit dem einen oder mit dem andern Auge betrachtet, und eben so müssen auch die auf der Netzhaut in beiden Augen entstehenden Bilder etwas von einander verschieden sein. Betrachtet man z. B. einen Kegel, dessen Grundfläche der Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Augen parallel, und dessen Spitze gegen die Spitze der Nase gerichtet ist, mit dem rechten oder linken Auge, so erscheint im ersten Falle die Spitze links, im andern rechts von der Mitte der Grundfläche.

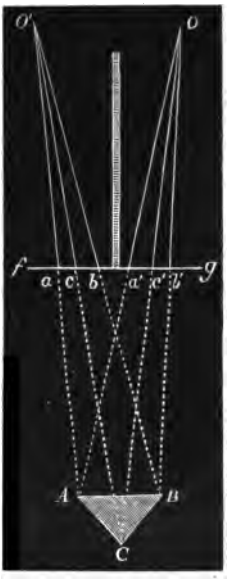
Sind überhaupt A, B, C, Fig. 268, drei Punkte irgend eines auf der ebenen Fläche fg abzuzeichnenden Gegenstandes, so sind a, b, c die in die Fläche fg fallenden Bilder

der drei Punkte A, B, C, wenn der Gegenstand mit dem rechten Auge O gesehen wird, während a′, b′, c′ die Bilder dieser Punkte für das linke Auge O′ sind. — Wenn man zwischen diesen beiderlei Bildern und den Augen einen Schirm so aufstellt, daß jedes Auge nur die für dasselbe entworfene Zeichnung sehen kann, und dann gleichzeitig mit dem rechten Auge O die Zeichnung a b c, mit dem linken Auge O′ die Zeichnung a′ b′ c′ betrachtet, so nimmt man nicht mehr drei in einer graden Linie liegende Punkte a b c oder a′b′c′, sondern drei in der Lage A, B, C befindliche Punkte wahr. Vertauscht man die beiden Zeichnungen mit einander, Fig. 269, so scheint der Punkt C nicht vor, sondern hinter den beiden Punkten A und B zu liegen.

(Fig. 268.)



(Fig. 269.)

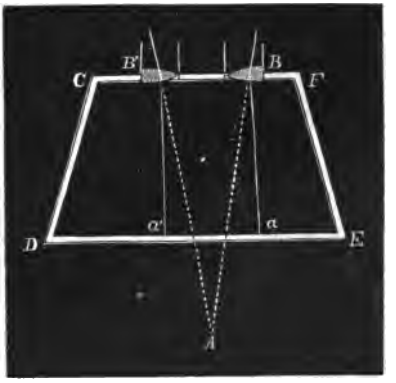


Das so eben für die Abbildungen dreier Punkte Angegebene gilt natürlich überhaupt für zwei Zeichnungen des nehmlichen Gegenstandes, welche so entworfen sind, wie derselbe, mit dem einen oder mit dem anderen Auge allein gesehen, sich darstellt.

Zur bequemen Beobachtung der in hohem Grade überraschenden Erscheinungen dient das Stereoscop, welches zuerst (1838) von Wheatstone erfunden worden ist, durch Brewster aber die hier näher zu beschreibende, noch vortheilhaftere Einrichtung erhalten hat. — Eine Sammellinse, von welcher AA′, Fig. 270, einen Höhen-, BB′ einen Breiten-

(Fig. 270.)

(Fig. 271.)



durchschnitt vorstellt, wird in der Mitte durchschnitten, die erhaltenen halbcirkelförmigen Hälften BB′ werden durch Abschleifen rund gestaltet und dann in zwei Röhren B und B′, Fig. 271, welche an dem oberen Boden des Kastens CDEF angebracht sind, so befestigt, daß die ursprünglich gegen einander gewendeten Ränder jetzt von einander abgekehrt sind.

Werden nun auf den unteren Boden des Kaſtens, welcher an einer Seite, um Licht einzulaſſen, eine große Oeffnung hat, zwei Zeichnungen eines Körpers, welche für jedes der beiden Augen entworfen ſind, ausgebreitet und dann durch die Röhren B und B′, welche etwas verſchiebbar ſind, um dieſelben grade in die gegenſeitige Entfernung der beiden Augen bringen zu können, betrachtet, ſo ſieht man nicht zwei in eine Ebene ausgebreitete Bilder, ſondern man hat, in der vollendetſten Täuſchung, den Anblick eines körperlichen Gegenſtandes. — Sind nehmlich a und a′ zwei Punkte in beiden Zeichnungen, welche demſelben Punkte des abgebildeten Gegenſtandes entſprechen, ſo werden die von dieſen Punkten ausgehenden Strahlen bei ihrem Durchgange durch die Linſen B und B′ ſo gebrochen, daß die verlängerten Richtungen derſelben ſich in einem Punkte A vereinigen. Der Eindruck in den beiden Augen iſt daher ganz ſo, als wenn die in dieſelben gelangenden Strahlen nicht von zwei Punkten a und a′, ſondern von dem Kreuzungspunkte A ausgegangen wären. — Die Linſen gewähren noch überdieß den Vortheil, daß die Zeichnungen den Augen näher gebracht werden können (vergl. oben §. 216 Nr. 4).

*§. 225. Das einfache Mikroſcop.

Wenn wir einen ſehr kleinen Gegenſtand deutlich ſehen wollen, müſſen wir denſelben dem Auge möglichſt nahe bringen, um hierdurch den Geſichtswinkel und das Bild auf der Netzhaut zu vergrößern. Dieſe Annäherung darf jedoch nicht unter die deutliche Sehweite (acht bis zehn Zoll für ein geſundes Auge) herabgehen, weil das Auge zu ſtark divergirende Strahlen nicht mehr auf der Netzhaut zu vereinigen vermag. Wir werden dagegen den kleinen Gegenſtand dem Auge weit mehr nähern können, wenn wir zwiſchen denſelben und das Auge eine Sammellinſe von kurzer Brennweite bringen, weil durch dieſelbe die Divergenz der Lichtſtrahlen geſchwächt wird.

Auf dieſem Satze beruht das einfache Mikroſcop. Iſt nehmlich AB, Fig. 272, eine Sammellinſe von kurzer Brennweite, ab ein kleiner innerhalb der Brennweite der Linſe, aber nahe am Brennpunkte befindlicher Gegenſtand, ſo erblickt das an der anderen Seite der Linſe in O befindliche Auge, wie wir in §. 216 gezeigt haben, ein vergrößertes Bild des Gegenſtandes a′b′. Da dieſes Bild um ſo mehr oder weniger von der Linſe AB entfernt iſt, je näher oder ferner der Gegenſtand ſelbſt dem Brennpunkte der Linſe iſt, ſo läßt ſich durch allmählige Annäherung oder Entfernung des Objectes ab von der Linſe leicht bewirken, daß das Bild a′b′ in der deutlichen Sehweite, alſo für das in O befindliche Auge vollkommen deutlich erſcheint.

(Fig. 272.)

Da ſich der Durchmeſſer des Bildes a′b′ und des Gegenſtandes ab offenbar wie ihre Entfernungen von dem optiſchen Centrum der Linſe verhalten, da ferner der Abſtand des Bildes a′b′ von der Linſe der deutlichen Sehweite gleich iſt und der Gegenſtand ab bei einer Linſe von kurzer Brennweite ſich ſehr nahe am Brennpunkte derſelben befinden muß, wenn das Bild in einer Entfernung von acht bis zehn Zoll erſcheinen ſoll, ſo verhält ſich folglich a′b′ zu ab, wie die deutliche Sehweite zur Brennweite der Linſe. Die lineare Vergrößerung iſt daher bei einem einfachen Mikroſcope gleich dem Quotienten aus der deutlichen Sehweite dividirt durch die Brennweite der Linſe, und die Vergrößerung nach dem Verhältniß der Flächen iſt dem Quadrate dieſer Zahl gleich. Eine mikroſcopiſche Linſe vergrößert folglich um ſo ſtärker, je kürzer ihre Brennweite iſt.

Da mit der Vergrößerung die Helligkeit des Bildes abnimmt, so muß man für eine hinreichende Beleuchtung des Objectes Sorge tragen. Man bewirkt dieselbe für durchscheinende Gegenstände durch einen kleinen Hohlspiegel, welcher die von den Wolken oder dem unbewölkten Himmel auffallenden Strahlen nach dem Gegenstande hin reflectirt. Undurchsichtige Gegenstände werden von oben her durch eine Linse oder einen seitwärts angebrachten Spiegel erleuchtet.

Das durch die mikroscopische Linse erzeugte Bild leidet sowohl an der sphärischen, als auch besonders an der chromatischen Abweichung, da so kleine Linsen, wie man sie für stark vergrößernde Mikroscope braucht, nicht füglich aus mehreren Theilen zusammengesetzt werden können. Man wendet daher mit Vortheil zu mikroscopischen Linsen Edelsteine, Diamanten, Saphire oder Granaten an, da diese das Licht stark brechen, ohne die farbigen Strahlen sehr zu zerstreuen.

Durch eine sehr kleine Linse läßt sich auch nur ein sehr kleiner Gegenstand oder ein kleiner Theil eines Gegenstandes auf einmal übersehen; sie gewährt also ein sehr kleines Gesichtsfeld. Eben so ist klar, daß eine sehr kleine Linse nur einer geringen Lichtmenge den Durchgang gestattet. Die durch dieselben erzeugten Bilder können daher auch nur eine sehr geringe Helligkeit haben. — Stellt man zwei Linsen von größerer Brennweite dicht hinter einander, so wirken dieselben im Wesentlichen das Nehmliche, wie eine Linse von kürzerer Brennweite. Das vergrößerte Bild, welches die eine von einem vor derselben befindlichen Gegenstande erzeugt, wird nochmals durch die zweite Linse vergrößert. Zwei solche größere Linsen gewähren den Vortheil einer größeren Helligkeit. Anderseits aber treten zu den Fehlern des Bildes, welche von der einen Linse herrühren, auch noch die Fehler, welche die Brechung des Lichtes in der anderen hervorruft, wenn nicht diese Linsen genau berechnete und sehr sorgfältig ausgeführte Krümmungen haben.

Linsen, deren Brennweite über einen halben Zoll beträgt, und die daher nur eine schwache Vergrößerung bewirken, werden gewöhnlich nicht Mikroscope, sondern Lupen genannt.

Die Zeit der Erfindung der Mikroscope läßt sich nicht genau angeben; man findet den Gebrauch derselben wenige Jahre nach Erfindung der Fernröhre.

Gewöhnlich haben die Lupen an beiden Seiten gleiche Krümmungen. Soll aber die sphärische Abweichung ein Minimum sein, so müssen die Krümmungen ungleich sein. Man hat dann beim Gebrauche die convexere Seite gegen das Object zu wenden.

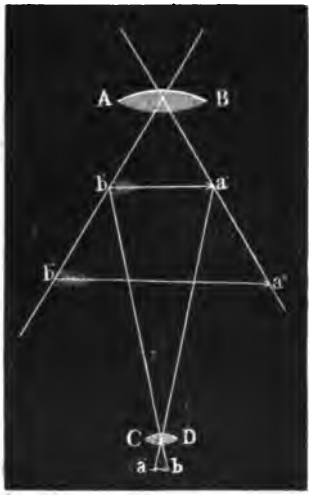
*§. 226. Das zusammengesetzte Mikroscop.

Das zusammengesetzte Mikroscop besteht in seiner einfachsten Einrichtung aus einer Objectivlinse CD, Fig. 273, von sehr kurzer Brennweite, welche von einem außerhalb der Brennweite derselben befindlichen Gegenstande ab ein umgekehrtes Bild a'b' erzeugt, und einer Ocularlinse AB, welche dieses Bild vergrößert und in die deutliche Sehweite bringt, so daß es dem an der andern Seite dieser Linse befindlichen Auge in a"b" erscheint.

Die Ocularlinse hat also dieselbe Verrichtung, wie die Linse eines einfachen Mikroscopes, nur daß durch dieselbe im zusammengesetzten Mikroscope nicht wie im einfachen das Object unmittelbar, sondern das durch die Objectivlinse erzeugte, vergrößerte und umgekehrte Bild betrachtet wird. Diese Linse kann aber keine so kurze Brennweite haben, als beim einfachen Mikroscope, weil das Bild a'b' niemals ganz frei von Fehlern ist und daher

keine zu starke Vergrößerung verträgt. Uebrigens leuchtet nach dem am Ende des vorhergehenden Paragraphen Gesagten wohl von selbst ein, daß man statt eines einfachen Oculars auch ein aus zwei Linsen zusammengesetztes anwenden kann.

(Fig. 273.)



Eben so können auch für das Objectiv zwei oder mehr Linsen mit einander verbunden werden.

Gewöhnlich befindet sich noch zwischen dem Objective und Oculare in der Nähe des letzteren eine Linse, welche den Namen Collectivlinse führt. Sie fängt die durch das Objectiv gebrochenen Strahlen auf, noch ehe sich dieselben zu einem Bilde vereinigt haben, und indem sie dieselben genauer in einen Punkt zusammenbringt, gibt sie dem Bilde größere Schärfe und vermindert die chromatische Abweichung. — Durch die Collectivlinse wird das von der Objectivlinse erzeugte Bild dieser etwas näher gebracht und verkleinert.

Sämmtliche Linsen sind in eine Röhre gefaßt, welche inwendig geschwärzt ist, um die Reflexion der Lichtstrahlen von den Wänden der Röhre zu verhindern. Da, wo das erste Bild a'b' entsteht, ist die Röhre durch einen undurchsichtigen Schirm geschlossen, welcher in der Mitte eine kreisförmige Oeffnung hat und nur denjenigen von der Objectivlinse gebrochenen Strahlen einen Durchgang gestattet, welche nahe an der Axe einfallen, die Randstrahlen aber abhält. Dieser Schirm wird Diaphragma oder Blendung genannt.

Die Zahl der Vergrößerung eines zusammengesetzten Mikroscopes wird auf theoretischem Wege gefunden, wenn man die durch die Objectiv- und die Ocularlinse einzeln bewirkten Vergrößerungen sucht und in einander multiplicirt. Zur praktischen Bestimmung wendet man am besten das von Jacquin angegebene Verfahren an. Man wendet als Object ein Mikrometer an, d. h. eine Glasscheibe, auf welcher in gleichen Abständen sehr feine parallele Linien eingeritzt sind. Aeußerlich bringt man an dem Instrumente unmittelbar über dem Oculare einen unter 45° gegen die Axe des Mikroscopes geneigten kleinen Planspiegel und hinter demselben in der deutlichen Sehweite einen weißen Schirm an, auf welchem ebenfalls in kleinen Abständen parallele Linien gezogen sind. Wenn man in das Spiegelchen sieht, so erblickt man in demselben das vergrößerte Bild der Mikrometereintheilung und zugleich hinter demselben den eingetheilten Schirm. Indem man beobachtet, wie viele Felder des letzteren durch ein Feld des Mikrometers bedeckt werden, und durch directe Abmessung bestimmt, wie vielmal ein Feld des Mikrometers in einem Felde des Schirmes enthalten ist, so gibt das Produkt dieser Zahlen die gesuchte Vergrößerung.

Bei dem nehmlichen Mikroscope finden sich gewöhnlich mehrere Objectivlinsen, mit denen man wechseln kann, je nachdem man eine stärkere oder schwächere Vergrößerung beabsichtigt. Die stärkste Vergrößerung, welche gute Mikroscope in der Regel gewähren, ist eine fünfhundert- bis achthundertmalige. Uebrigens ist nicht unbedingt dasjenige Mikroscop das vorzüglichste, welches am stärksten vergrößert, sondern dasjenige, durch welches man einen kleinen Gegenstand am deutlichsten und vollständigsten sieht.

Sehr empfehlenswerth und für die gewöhnlichen Zwecke des Schulunterrichts ausreichend sind die von Engell in Zürich zu dem Preise von 7⅓ Thlr. gelieferten und durch Schäffer und Budenberg in Magdeburg zu beziehenden Mikroscope und mikroscopischen Präparate.

*§. 227. Das Fernrohr.

Man unterscheidet dioptrische und katoptrische Fernröhre, je nachdem dieselben bloß aus Linsen zusammengesetzt sind oder auch Spiegel enthalten. Die katoptrischen Fernröhre werden gewöhnlich nur in größerem Maaßstabe ausgeführt und führen vorzugsweise den Namen Telescope. Größere dioptrische Fernröhre nennt man auch Refractoren. Wir führen unter den dioptrischen Fernröhren zuerst an:

Das astronomische oder Kepplersche Fernrohr, welches mit dem zuletzt beschriebenen, zusammengesetzten Mikroscope die größte Aehnlichkeit hat. Es besteht nehmlich, so wie dieses, aus zwei convexen Linsen, einer Objectivlinse CD, Fig. 274, und einer Ocularlinse AB. Der Unterschied ist nur der,

(Fig. 274.)

daß das Objectiv CD nicht, wie bei dem Mikroscope, von einem sehr kleinen und nahen, sondern von einem entfernten und großen Gegenstande ein umgekehrtes Bild a'b' erzeugt, welches dann eben so, wie beim Mikroscope, durch die Ocularlinse AB für das in O befindliche Auge in die deutliche Sehweite hinausgerückt wird, so daß das Auge statt des kleinen Bildes a'b' das vergrößerte Bild a"b" erblickt. Da in diesem Fernrohre die Gegenstände verkehrt erscheinen, so wird es nur für astronomische Beobachtungen gebraucht.

Das in O dicht an der Ocularlinse befindliche Auge erblickt das Object im Fernrohre unter dem Gesichtswinkel a'Ob' und würde ohne das Fernrohr dasselbe unter dem Winkel aEb = a'Eb' sehen; das Auge sieht also das Object im Fernrohre so vielmal vergrößert, als der Winkel a'Eb' in a'Ob' enthalten ist. Bezeichnen wir daher die Zahl der Vergrößerung mit m, so ist

$$m = \frac{a'Ob'}{a'Eb'}.$$

Da die Winkel a'Ob' und a'Eb' jedenfalls nur wenige Grade oder Minuten umfassen, so wird man ohne erheblichen Fehler annehmen können, daß sich verhält:

$$a'Ob' : a'Eb' = Ec : Oc.$$

Man wird daher auch setzen können:

$$m = \frac{Ec}{Oc}.$$

Nun ist aber Ec sehr nahe gleich der Brennweite des Objectivs und, wie wir im vorhergehenden Paragraphen gezeigt haben, Oc nahe gleich der Brennweite des Oculars. Die Zahl der Vergrößerung eines astronomischen Fernrohrs ist daher zu Folge der vorstehenden Gleichung gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Objectivs dividirt durch die Brennweite des Oculars.

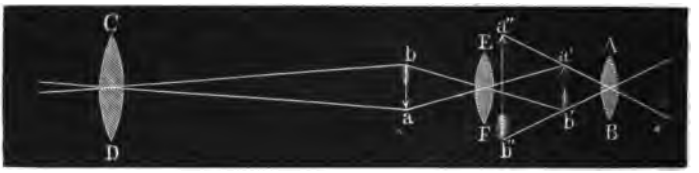
Die Vergrößerung ist also um so stärker, je größer die Brennweite des Objectivs, und je kleiner die des Oculars ist. Mit der ersteren wächst die Länge des Fernrohrs in gleichem Verhältnisse und nimmt zugleich die Weite

des Gesichtsfeldes ab. Um daher eine beträchtliche Vergrößerung zu erhalten, ohne das Fernrohr übermäßig zu verlängern, muß man zum Ocular eine Linse von kurzer Brennweite anwenden. Je kürzer aber die Brennweite des Oculars ist, je stärker also dasselbe vergrößert, um so mehr nimmt die Helligkeit des Bildes und die Weite des Gesichtsfeldes ab. Besonders entspringt aus dem schon oben beim zusammengesetzten Mikroscope erwähnten Umstande, daß das vom Objectiv erzeugte Bild nie ganz frei von Fehlern ist, eine nicht zu überschreitende Grenze für die durch das Ocular zu bewirkende Vergrößerung.

Endlich führen wir noch an, daß zwischen der Objectiv- und Ocularlinse eben so, wie beim zusammengesetzten Mikroscope, gewöhnlich eine Collectivlinse eingeschaltet wird, welche dem hinter derselben entstehenden Bilde eine größere Schärfe gibt, und daß da, wo dieses Bild entsteht, eine die Randstrahlen auffangende Blendung angebracht ist.

Das astronomische Fernrohr, welches in seinen Leistungen an Helligkeit und Reinheit der Bilder alle anderen Fernröhre übertrifft, wird für den gewöhnlichen Gebrauch für irdische Gegenstände dadurch unbequem, daß man in demselben die Gegenstände verkehrt sieht. Diese Unbequemlichkeit läßt sich beseitigen, wenn man zwischen Objectiv und Ocular noch eine das Bild umkehrende Linse EF einschaltet, wie dieses Fig. 275 zeigt.

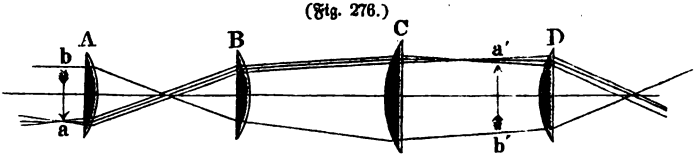
(Fig. 275.)



Das Erdfernrohr erfordert also wenigstens drei Linsen, eine Objectivlinse CD und zwei Ocularlinsen EF und AB. Diese Linsen sind in Fig. 275 so geordnet, daß die Linse EF von dem durch das Objectiv CD erzeugten Bilde ab an der anderen Seite ein abermals umgekehrtes, also aufrechtes Bild a'b' hervorbringt, von welchem endlich die Ocularlinse für das vor derselben befindliche Auge das vergrößerte Bild a"b" in der deutlichen Sehweite erzeugt.

Obschon hiernach für das Ocular, um aufrechte Bilder zu erhalten, zwei Linsen ausreichen, so wendet man doch aus praktischen Gründen, auf welche wir hier nicht näher eingehen können, gewöhnlich Oculare mit vier Linsen an. Das durch das Objectiv erzeugte umgekehrte Bild ab, Fig. 276, be-

(Fig. 276.)

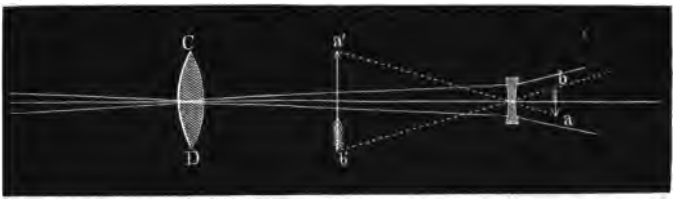


findet sich innerhalb der Brennweite des ersten Oculars A, aus welchem daher die gebrochenen Strahlen divergent austreten. Dieselben gelangen dann, nachdem sie die Axe durchschnitten haben, zunächst auf das zweite Ocular B,

welches sie parallel oder schwach convergent macht, und dann weiter auf das dritte Ocular C, welches sie zu einem aufrechten Bilde a'b' vereinigt, welches von dem Auge durch das vierte Ocular D, wie durch ein einfaches Mikroscop, betrachtet wird.

Endlich läßt sich auch noch durch die Verbindung einer convexen Objectivlinse CD, Fig. 277, und einer concaven Ocularlinse ein Fern-

(Fig. 277.)



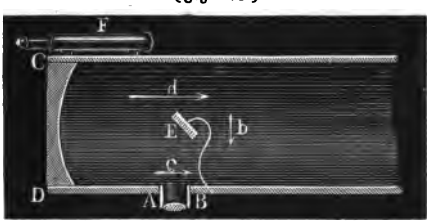
rohr herstellen, in welchem man die Gegenstände aufrecht sieht. Das so eingerichtete Fernrohr wird

das Galilei'sche oder holländische genannt. Das concave Ocular befindet sich innerhalb der Brennweite des convexen Objectivs und demselben so nahe, daß die von dem Objective gebrochenen Strahlen sich ein wenig hinter dem geometrischen Brennpunkte des Oculars zu einem verkehrten Bilde ab vereinigen würden. Die convergent auf das concave Ocular auffallenden Strahlen werden daher durch die Brechung in demselben divergent, und das an der anderen Seite desselben befindliche Auge erblickt in der deutlichen Sehweite das aufrechte Bild a'b'. Die Vergrößerungszahl ist bei diesem Fernrohre, so wie bei dem astronomischen, dem Quotienten aus der Brennweite des Objectivs dividirt durch die Brennweite des Oculars gleich. — Da die vom Objective gebrochenen Strahlen vor ihrer Vereinigung auf das Ocular gelangen, so darf dieses nicht zu klein sein, also auch keine sehr kurze Brennweite haben, wenn das Gesichtsfeld nicht allzu klein ausfallen soll. Es verträgt daher dieses Fernrohr eine weit geringere Vergrößerung, als das astronomische.

Vor der Erfindung achromatischer Linsen ließen die dioptrischen Fernröhre wegen der chromatischen Abweichung nur sehr mäßige Vergrößerungen zu. Diese Abweichung wurde gänzlich beseitigt, indem man statt der Linsen als Objective bei größeren Fernröhren Hohlspiegel anwendete. Das am meisten gebräuchliche Spiegeltelescop ist

das Newton'sche Telescop. Dieses besteht aus einem Hohlspiegel CD, Fig. 278, von mehreren Fußen Brennweite, einem kleinen gegen die Axe des Hohlspiegels unter 45° geneigten Planspiegel E und der convexen Ocularlinse AB, welche dem Planspiegel gegenüber an der Seite des Rohres angebracht ist. Die von einem sehr entfernten Gegenstande auf den Hohlspiegel fallenden Strahlen werden von demselben so zurückgeworfen, daß sie in der Nähe

(Fig. 278.)



seines Brennpunktes b ein verkehrtes und verkleinertes Bild erzeugen würden. Ehe sie sich jedoch zu diesem Bilde vereinigen, treffen sie auf den Planspiegel E und werden von demselben so reflectirt, daß dieses Bild nicht in b, sondern in c nahe am Brennpunkte der Ocularlinse AB entsteht, welche dieses Bild dem vor derselben befindlichen Auge vergrößert und in die deutliche Sehweite nach d hinausrückt. Da man in dieses Teleskop von der Seite sieht, so würde es große Mühe kosten, dasselbe auf ein entferntes Object zu richten. Zu diesem Zwecke ist mit demselben ein kleines Fernrohr, der Sucher, so verbunden, daß die Axe des Fernrohrs der Axe des Teleskopes parallel ist. Hat man nun das Fernrohr auf ein entferntes Object so gerichtet, daß dieses in der Axe des Fernrohrs erscheint, so wird dasselbe auch im Teleskope gesehen.

Das Fernrohr mit einem concaven Oculare ist um's Jahr 1600 in Holland und etwas später, 1610, von Galilei in Padua, welcher von dieser Entdeckung eine Nachricht erhalten hatte, erfunden worden. Derselbe entdeckte mit einem von ihm verfertigten Instrumente, das dreiundbreißigmal vergrößerte, die Trabanten des Jupiters, den Ring des Saturn und Flecken in der Sonne. — Gegen das Jahr 1611 gab Keppler die Construction des astronomischen Fernrohrs, 1663 Gregory in England die Construction eines Spiegeteleskopes an, dessen Einrichtung 1666 durch Newton verbessert wurde, und 1757 verfertigte Dollond in England das erste achromatische Fernrohr.

Da Metallspiegel leicht ihre Politur verlieren, so ist der Gebrauch der Spiegelteleskope ein viel beschränkterer, als der der dioptrischen Fernröhre. Man wendet die Spiegelteleskope vorzüglich bei astronomischen Beobachtungen dann an, wenn man eine sehr starke Vergrößerung und eine bedeutende Lichtstärke zu erhalten beabsichtigt. Berühmt sind ins Besondere die Beobachtungen, welche der ältere Herschel in der zweiten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts mit einem Spiegelteleskope von der oben beschriebenen Einrichtung angestellt hat. Der Spiegel dieses Instrumentes hatte 1½ Fuß Durchmesser und 20 Fuß Brennweite. Die stärkste Vergrößerung betrug 2000. Bei dem größten von Herschel ausgeführten Instrumente, welches eine etwas andere Einrichtung hatte und eine fast siebentausendmalige Vergrößerung zuließ, verlor der Spiegel, indem er sich in einer kühlen Nacht mit Dünsten überzog und oxydirte, sehr bald seine Brauchbarkeit. — Herschel entdeckte unter anderen durch sein Teleskop den Planeten Uranus nebst seinen Trabanten und die beiden Trabanten des Saturn, welche demselben am nächsten und daher am schwierigsten zu beobachten sind.

In neuerer Zeit sind durch Lassell und Lord Rosse ausgezeichnete Reflectoren hergestellt worden. Durch das Teleskop von Lassell, welches nur 2 (englische) Fuß Oeffnung und 20 Fuß Brennweite hat, sind bereits ein Trabant des Neptun und ein achter Trabant des Saturn entdeckt worden. Das Teleskop von Lord Rosse hat 6 (englische) Fuß Oeffnung und 55 Fuß Brennweite. In demselben zeigen sich viele Nebelflecke, welche bisher kein anderes Fernrohr aufzulösen vermochte, als Haufen einzelner Sterne.

Die vorzüglichsten Refractoren werden in Frauenhofer's und Utzschneider's optischem Institute zu München angefertigt. Der von Frauenhofer's Nachfolger, Merz, für die Sternwarte bei Petersburg angefertigte Refractor hat ein Objectiv von 14 Zoll Durchmesser und 21 Fuß Brennweite und gewährt eine zweitausendmalige Vergrößerung. Die Hauptschwierigkeit, welche sich der Ausführung großer Refractoren entgegenstellt, besteht darin, für das Objectiv hinreichend große und ganz homogene, von allen Wolken und Streifen freie Glastafeln herzustellen.

Da besonders das Flintglas in größeren Stücken selten ganz rein und überdieß kostbar ist, so hat Plößl in Wien auf den Vorschlag von Littrow den Fernröhren die Einrichtung gegeben, daß das eigentliche Objectiv bloß aus Kronglas besteht, die Flintglaslinse aber, durch welche die Farbenzerstreuung aufgehoben wird, in einiger Entfernung von dem Objectiv angebracht ist und daher einen beträchtlich kleineren Durchmesser erhalten kann. Die Fernröhre von dieser Einrichtung werden dialytische genannt und haben vor den gewöhnlichen Dollond'schen Fernröhren auch noch den Vorzug größerer Kürze.

Bei kleineren Fernröhren findet man die Zahl der Vergrößerung am einfachsten, indem man die Ziegeln eines Daches oder die Rauten eines Fensters mit einem Auge durch das Fernrohr und zugleich mit dem anderen freien Auge beobachtet und zusieht,

wie viele gleich große und mit freiem Auge gesehene Abtheilungen eine durch das Fernrohr gesehene vergrößerte Abtheilung bedeckt. Noch besser wendet man ein dem oben für Mikroscope angegebenen ähnliches Verfahren an, indem man vor dem Oculare ein unter 45° gegen die Axe des Fernrohrs geneigtes kleines Metallspiegelchen anbringt und als Object eine in gleiche Theile getheilte und in abgemessener Entfernung aufgestellte Latte anwendet. — Uebrigens gilt auch hier das schon oben bei Mikroscopen Gesagte, daß nicht immer das stärker vergrößernde Instrument, sondern dasjenige, durch welches man einen Gegenstand vollständiger und deutlicher sieht, das vorzüglichere ist. Ein sehr einfaches Mittel, um zwei kleinere Fernröhre in Hinsicht ihrer Güte zu vergleichen, besteht darin, daß man untersucht, durch welches von beiden man die nehmliche Schrift in größerer Entfernung noch vollkommen deutlich erkennen und lesen kann. Als Prüfungsmittel für größere Fernröhre wählt man gewöhnlich Doppelsterne.

*§. 228. Historische Uebersicht.

Vor Christus. Die alten Griechen und Römer kannten die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes und das Reflexionsgesetz. Auch war ihnen die Brechung des Lichtes nicht unbekannt; doch fehlte ihnen die nähere Kenntniß des Brechungsgesetzes.

1000 n. Chr. Arabische Physiker stellen Untersuchungen über die Brechung des Lichtes und den Bau des Auges an.

1300. Die Brillen werden in Italien erfunden.

1558. Der Neapolitaner Porta erfindet die Camera obscura.

1600. Das Fernrohr mit einem concaven Oculare wird zuerst in Holland und etwas später,

1610, von Galilei, welcher von dieser Entdeckung eine Nachricht erhalten hatte, erfunden. — Um dieselbe Zeit findet sich auch der erste Gebrauch der Mikroscope.

1611. Keppler gibt die Construction des astronomischen Fernrohrs an.

1621. Der Holländer Snellius entdeckt das Brechungsgesetz.

1663. Gregory in England gibt die Construction eines Spiegeltelescopes an.

1665. Der Italiener Grimaldi entdeckt die Beugung der Lichtstrahlen.

1666. Newton weist die verschiedene Brechbarkeit der verschiedenen Lichtstrahlen nach. Derselbe führt die Farbenerscheinungen dünner Blättchen auf bestimmte Gesetze zurück und verbessert die Einrichtung des Spiegeltelescopes.

1669. Bartolin in Kopenhagen entdeckt die doppelte Brechung des Lichtes im Kalkspathe.

1675. Der dänische Astronom Römer bestimmt die Geschwindigkeit des Lichtes.

1690. Der Holländer Huyghens stellt die Vibrationshypothese auf und stellt Untersuchungen über die doppelte Brechung des Lichtes an.

1738. Lieberkühn erfindet das Sonnenmikroscop.

1757. Dollond in England verfertigt das erste achromatische Fernrohr.

1773. Scheele in Schweden entdeckt die chemischen Wirkungen des Lichtes.

1800. Young in England erklärt die Farbenerscheinungen dünner Blättchen durch die Interferenz der Lichtwellen.

1802. Wollaston und Ritter finden fast gleichzeitig, daß die chemischen Wirkungen des prismatischen Farbenbildes sich noch über das äußerste Violett hinaus erstrecken, und ohngefähr um dieselbe Zeit entdeckt Herschel, daß die thermischen Wirkungen noch über die äußerste Grenze des Rothes hinausreichen.

1808. Malus in Frankreich entdeckt die Polarisation des Lichtes.

1815. Fresnel in Frankreich vervollständigt die Theorie der Lichtwellen und gibt die befriedigende Erklärung der Beugungsphänomene.

1820. Frauenhofer bringt die achromatischen Fernröhre zu ihrer gegenwärtigen Vollkommenheit. Derselbe entdeckt die dunkelen Linien im prismatischen Farbenbilde und stellt, so wie Herschel in England, Untersuchungen über die Beugung an.

1838. Daguerre in Frankreich erfindet die Lichtbilder und Wheatstone in England das Stereoscop.

1845. Faraday in England bewirkt durch Magnetismus eine Drehung der Polarisationsebene eines polarisirten Lichtstrahles.

1860. Kirchhoff und Bunsen stellen Untersuchungen über die hellen Linien an, welche sich in dem prismatischen Farbenbilde von Lichtflammen zeigen, wenn in denselben chemisch verschiedene Substanzen erglühen.

Zehnter Abschnitt.

Von der Wärme.

A. Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

§. 229a. Von der Wärme im Allgemeinen.

Der innige Zusammenhang zwischen den Erscheinungen des Lichtes und der Wärme, welche wir so gewöhnlich zusammen auftreten sehen, läßt es als wahrscheinlich erscheinen, daß die Wärme eben so wie das Licht auf gewissen Schwingungen beruht, welche die kleinsten Theile der Körper ausführen. Da es jedoch bis jetzt noch nicht gelungen ist, die höchst mannigfaltigen Erscheinungen der Wärme sämmtlich aus diesem Principe in genügender Weise herzuleiten, so gehen wir auch nicht weiter auf die Entwickelung dieser Hypothese ein, sondern beschränken uns im Folgenden auf die Darlegung der Thatsachen und ihrer Gesetze. — Wir bezeichnen mit dem Worte Wärme ein uns unbekanntes Agens, auf dessen Vorhandensein wir aus den durch dasselbe hervorgebrachten Wirkungen schließen. Die bekanntesten dieser Wirkungen sind die Einwirkung auf unser Gefühl, die Ausdehnung und die Veränderung des Aggregatzustandes der Körper.

Nach der verschiedenen Affection unseres Gefühls unterscheiden wir warme und kalte Körper. Wie wenig zuverlässig jedoch die auf die Zeugnisse des Gefühles gegründeten Urtheile sind, geht schon daraus hervor, daß wir den nehmlichen Körper, welchen wir unter gewissen Umständen warm nennen, unter anderen Verhältnissen für kalt erklären. Tauchen wir z. B. eine Zeitlang eine Hand in kaltes, die andere in warmes Wasser und hierauf beide Hände in lauwarmes Wasser, so haben wir an der einen Hand das Gefühl von Kälte, an der anderen von Wärme. — Uebrigens sollen die Benennungen kalt und warm keinen eigentlichen Gegensatz, wie positiv und negativ electrisch, sondern nur eine Verschiedenheit dem Grade nach, wie hell und dunkel, ausdrücken. Ob es einen absolut kalten Körper, d. h. einen solchen Körper, welchem alle Wärme abgeht, gibt oder geben kann, ist uns unbekannt.

In früherer Zeit nahm man an, daß die Erscheinungen der Wärme durch eine äußerst feine, unwägbare Materie, welche in allen Körpern in größerer oder geringerer Menge enthalten sei, hervorgebracht würden, und bezeichnete diese Materie mit dem Namen Wärmestoff, so wie man ja auch dasselbe für das Licht, die Electricität und den Magnetismus annahm und demgemäß von einem Lichtstoff, einer electrischen und einer magnetischen Materie sprach. Da sich jedoch diese Annahme zur Erklärung der Erscheinungen als unzulänglich, ja besonders in Hinsicht des Lichtes als mit vielen bekannten Erscheinungen in directem Widerspruch stehend herausgestellt hat, so ist dieselbe allgemein von den Physikern in neuerer Zeit aufgegeben worden.

§. 229b. Quellen der Wärme.

Die hauptsächlichsten Quellen, durch welche Wärme erregt wird, sind die Sonnenstrahlen, chemische Processe, Electricität und mechanische Kräfte. Von der Erregung der Wärme durch chemische Processe und Electricität ist bereits oben (in §. 86, 124 und 146) die Rede gewesen; von der erwärmenden Wirkung der Sonnenstrahlen wird weiter unten (§. 252) ausführlich gehandelt werden. Unter den mechanischen Wirkungen, welche mit Entwickelung von Wärme verbunden sind, ist besonders die Reibung anzuführen. Unzählige allgemein bekannte Erfahrungen lehren, daß an einander geriebene Körper sich erwärmen. Bohrer, Sägen und andere Instrumente erhitzen sich während des Gebrauches, eben so die Axen an den Rädern der Wagen beim raschen Fahren; Holzstücke können durch starkes Reiben bis zum Entzünden erwärmt werden u. dgl. m.

Rumford brachte (im Jahre 1798) durch Bohren eines Kanonenrohrs unter Wasser dieses zum Sieden, welches so lange anhielt als die Reibung dauerte. Selbst durch anhaltendes Schütteln wird die Temperatur des Wassers etwas erhöht. In Uebereinstimmung hiermit zeigt das Meerwasser nach heftigen Stürmen eine erhöhte Temperatur. Eisstücke schmelzen, wenn sie an einander gerieben werden.

Auch starker Druck oder Stoß bringen nicht selten eine beträchtliche Erhöhung der Temperatur hervor. Münzen erwärmen sich beim Prägen; ein eiserner Nagel kann durch kräftige Hammerschläge bis zum Glühen erwärmt werden; bei dem früher mehr gebräuchlichen Feuerschlagen mit Stahl und Stein werden kleine Stahlstückchen durch den heftigen Stoß losgerissen und glühend u. dgl. m.

Die in neuerer Zeit vorzüglich von Joule in England angestellten Untersuchungen über die Wärmemenge, welche ins Besondere beim Reiben fester oder flüssiger Körper entwickelt wird, haben zu dem Ergebniß geführt, daß die durch mechanische Wirkungen erzeugte Wärmemenge der angewandten Kraft proportional sein dürfte.

Nach Joule erfordert die Wärmemenge, welche die Temperatur von 1 Pfund Wasser um 1° C. zu erhöhen vermag, den Aufwand einer Kraft, welche 1260 Pfund 1 Fuß hoch zu heben im Stande ist.

Nach der mechanischen Wärmetheorie sind Wärme und mechanische Kraft nur verschiedene Aeußerungen ein und derselben Grundursache, welche sich gegenseitig ersetzen. Ueberall, wo mechanische Kraft verschwindet, wird Wärme erzeugt, wie dieß z. B. bei der Reibung der Fall ist, und umgekehrt, wo Wärme verschwindet, wird sie durch mechanische Kraft oder Bewegung, deren Größe der latent gewordenen Wärme proportional ist, ersetzt. So findet z. B., wenn Gase oder Dämpfe sich in einem größeren Raum ausdehnen und zugleich auf einen Kolben oder einen anderen Widerstand leistenden Körper bewegend einwirken, eine der vollbrachten Arbeit proportionale Erniedrigung der Temperatur statt. — Auf eine umfassende Ausführung dieses Gegenstandes, über welchen die Untersuchungen zur Zeit noch nicht abgeschlossen sind, können wir jedoch nicht eingehen.

§. 280. Das Thermometer.

Den Zustand der Wärme eines Körpers nennt man seine Temperatur. Unser Gefühl kann, wie wir schon im vorhergehenden Paragraphen gesehen haben, uns keinen sicheren Maaßstab zur Beurtheilung der Temperatur eines Körpers gewähren. Man wendet daher zur Abmessung derselben besondere Instrumente an, welche man Thermometer nennt, und bei denen, wie verschieden auch übrigens ihre Einrichtung sein mag, die ungleiche Ausdehnung zweier Körper durch die Wärme, z. B. beim Quecksilberthermometer die verschiedene Ausdehnung des Quecksilbers und des Glases, als Maaß der Temperatur angenommen wird.

Das Quecksilberthermometer, welches unter allen Thermometern das gebräuchlichste und zweckmäßigste ist, besteht aus einer gläsernen Röhre, welche sich unten in eine Kugel erweitert. Die Kugel und ein Theil der Röhre sind mit Quecksilber angefüllt, und neben der Röhre ist die in gleiche Theile eingetheilte Scale angebracht, auf welcher das Steigen oder Fallen des Quecksilbers in der Röhre abgemessen wird.

Auf dieser Scale sind zunächst zwei feste Punkte verzeichnet, von denen der eine der Eispunkt, der andere der Siedepunkt genannt wird. Man bestimmt den ersteren, indem man die Kugel des Thermometers und den unteren Theil der Röhre, so weit das Quecksilber reicht, in schmelzenden Schnee oder schmelzendes Eis taucht und die Stelle auf der Röhre mit einem feinen Striche bezeichnet, bis zu welcher das Quecksilber in der Röhre reicht. Eben so findet man den Siedepunkt, indem man das Thermometer in siedendes Wasser oder besser in die Dämpfe von siedendem Wasser taucht und ebenfalls die Stelle auf der Röhre verzeichnet, bis zu welcher das Quecksilber steigt. Den Zwischenraum zwischen dem Eis- und Siedepunkte theilt man am zweckmäßigsten in hundert gleiche Theile und nennt diese Theile Grade. Eben solche Theile trägt man auch noch über dem Siedepunkte und unter dem Eispunkte auf.

Diese Eintheilung, bei welcher an den Eispunkt Null, an den Siedepunkt 100 geschrieben wird, heißt die Centesimaleintheilung oder die Eintheilung nach Celsius, weil dieselbe durch Celsius in Upsala zuerst (1742) eingeführt worden ist. Alle Temperaturangaben in diesem Buche beziehen sich auf diese Eintheilung. Weniger zweckmäßig ist die in Deutschland noch sehr gebräuchliche Eintheilung nach Réaumur, bei welcher an den Eispunkt ebenfalls Null, aber an den Siedepunkt 80 zu stehen kommt; desgleichen die vorzüglich in England verbreitete Eintheilung nach Fahrenheit, welcher an den Eispunkt die Zahl 32 und an den Siedepunkt 212 schreibt und also den Zwischenraum in 180 gleiche Theile theilt. Bei sämmtlichen Eintheilungen werden die Grade über Null mit plus (+), die Grade unter Null mit minus (—) bezeichnet.

Die Grade der einen Eintheilung können leicht in die der anderen umgewandelt werden, da 4^0 R. gleich 5^0 C. gleich 9^0 F. sind, wobei man jedoch nicht außer Acht zu lassen hat, daß Fahrenheit an den Eispunkt nicht Null, sondern 32 schreibt.

Hiernach sind also:

n^0 nach C. $= \frac{4}{5}n$ nach R. $= \frac{9}{5}n + 32$ nach F.

n^0 nach R. $= \frac{5}{4}n$ nach C. $= \frac{9}{4}n + 32$ nach F.

n^0 nach F. $= \frac{5}{9}(n-32)$ nach C. $= \frac{4}{9}(n-32)$ nach R.

Durch das Thermometer werden wir in den Stand gesetzt, die Temperaturen zweier Körper oder des nehmlichen Körpers für verschiedene Zeiten zu vergleichen. Ob aber das Steigen oder Fallen des Queckſilbers in der Röhre wirklich dem wahren Gange der Wärme proportionirt erfolgt, ob z. B. für eine Temperaturerhöhung von 20^0 eine doppelt ſo große Wärmemenge erforderlich iſt, als für eine Temperaturerhöhung von 10^0, iſt eine Frage, auf deren Beantwortung wir weiter unten zurückkommen werden. Selbſt wenn dieſe Frage nicht unbedingt zu bejahen ſein ſollte, ſo würde das Thermometer doch eine der wichtigſten und nützlichſten phyſikaliſchen Geräthſchaften bleiben, vorausgeſetzt, daß richtig conſtruirte Thermometer auch allemal, wenn ſie den nehmlichen Bedingungen unterworfen werden, denſelben Temperaturgrad anzeigen.

Damit dieſes der Fall ſei, ſind bei der Anfertigung des Thermometers noch folgende Regeln zu beobachten:

1) Die Röhre muß überall gleiches Caliber, gleiche Weite, haben. Man unterſucht dieſes, indem man in die Röhre einen Tropfen Queckſilber bringt, welcher in derſelben die Form eines kleinen Cylinders annimmt. Man überzeugt ſich dann durch genaue Meſſungen, ob das Queckſilberſäulchen, wenn man es durch allmähliges Neigen in der Röhre von einem Ende nach dem anderen gleiten läßt, beſtändig dieſelbe Länge hat. Iſt dieſe Länge für verſchiedene Stellen der Röhre merklich verſchieden, ſo iſt die Röhre überhaupt als unbrauchbar zu verwerfen.

2) Von den beiden feſten Punkten bietet die Beſtimmung des Eispunktes keine Schwierigkeit dar. Wir erinnern nur noch, daß man denſelben nicht im frierenden Waſſer, ſondern im ſchmelzenden Schnee oder Eiſe feſtſtellt, weil Waſſer, wie wir weiter unten noch ausführlicher zeigen werden, mehrere Grade unter Null abgekühlt werden kann, ohne zu frieren, während dagegen die Temperatur des ſchmelzenden Eiſes eine durchaus feſte iſt. Jedesmal, wenn man das Thermometer in ſchmelzenden Schnee oder Eis taucht, ſinkt das Queckſilber wieder an die nehmliche Stelle. Dieſes iſt jedoch bei dem Siedepunkte nicht unbedingt der Fall, indem derſelbe auch von dem Luftdrucke abhängt. Das Waſſer ſiedet nämlich bei ſtärkerem Luftdrucke bei einer höheren Temperatur, als bei niedrigerem Luftdrucke. Der Siedepunkt kommt daher bei einem hohen Barometerſtande höher, als bei niedrigem Barometerſtande zu liegen. (Bei 29″ Barometerſtand ohngefähr 1^0 höher, bei 27″ aber 1^0 niedriger, als bei 28″.) Will man daher vergleichbare Thermometer herſtellen, ſo muß der Siedepunkt entweder bei dem nehmlichen normalen Barometerſtande beſtimmt ſein, als welchen man gewöhnlich 28 Pariſer Zoll annimmt; oder der Künſtler beſtimmt den Siedepunkt bei einem beliebigen Barometerſtande, und indem er dieſen auf der Rückſeite der Scale bemerkt, überläßt er dem Phyſiker, welcher ſich dieſes Thermometers bedient, an den unmittelbaren Angaben desſelben die erforderlichen Correctionen anzubringen.

Der Fahrenheit'ſche Nullpunkt iſt die Temperatur, welche entſteht, wenn man drei Theile Schnee mit einem Theile Kochſalz vermiſcht.

Gewöhnlich macht man die Thermometer luftleer, indem man durch Erwärmen das Queckſilber bis in die Spitze treibt und dieſe dann raſch zuſchmilzt. Ohne dieß würde man Gefahr laufen, daß beim Steigen des Queckſilbers in der Röhre durch den Gegendruck der comprimirten Luft das ſehr dünne Glas der Kugel zerſprengt werden würde. Auch wird ein Thermometer unrichtig, wenn bei einer Erſchütterung Luft zwiſchen das

Queckſilber kommt. — Beſonders bei den luftleeren Thermometern geſchieht es häufig, daß der Nullpunkt mit der Zeit etwas in die Höhe rückt. Man ſchreibt dieſes dem Umſtande zu, daß das ſehr dünne Glas der Kugel durch den äußeren Luftdruck etwas zuſammengepreßt wird. Man pflget daher die mit Queckſilber gefüllte Röhre, nachdem man dieſelbe luftleer gemacht und zugeſchmolzen hat, einige Monate liegen zu laſſen, ehe man den Eispunkt beſtimmt. Ueberhaupt thut man wohl, an einem Thermometer von Zeit zu Zeit die beiden Normalpunkte zu controliren.

(Fig. 279.)

Das Thermometer ſoll ums Jahr 1605 von Cornelius Drebbel in Holland erfunden worden ſein. Drebbels Thermometer war jedoch von unſeren gegenwärtigen Thermometern noch ſehr verſchieden. Es beſtand nehmlich aus einer im oberen Theile mit Luft, im unteren Theile mit einer gefärbten Flüſſigkeit gefüllten Röhre B, Fig. 279, welche ſich oben in eine ebenfalls mit Luft gefüllte Kugel A endete, mit dem unteren Ende aber in ein mit der nehmlichen Flüſſigkeit gefülltes Gefäß C tauchte. Neben der Röhre befand ſich eine willkührlich getheilte Scale, an welcher das Fallen oder Steigen der Flüſſigkeit in der Röhre, je nachdem bei vermehrter oder verminderter Wärme ſich die Luft in der Kugel ausdehnte oder zuſammenzog, gemeſſen wurde.

Dieſe ſehr unvollkommene Vorrichtung, deren Gang nicht allein durch die Wärme, ſondern auch durch andere Umſtände, beſonders den Luftdruck, beſtimmt wurde, ließ gar keine vergleichbaren Reſultate zu, da die feſten Punkte noch gänzlich fehlten. Die Mitglieder der Akademie zu Florenz gaben zuerſt dem Thermometer die gegenwärtige Einrichtung, wendeten aber als flüſſigen Körper nicht Queckſilber, ſondern Weingeiſt an; auch gelang es ihnen, ziemlich übereinſtimmende Thermometer herzuſtellen, indem ſie als den einen feſten Punkt die durch das ganze Jahr nahe gleiche Temperatur eines tiefen Kellers annahmen und im Uebrigen die Theilung nach einem Normalthermometer regulirten, wonach denn freilich nur aus Florenz übereinſtimmende Thermometer hervorgehen konnten.

Erſt ſpäter wurden, beſonders durch Fahrenheit in Danzig und Réaumur in Frankreich, die jetzt gebräuchlichen feſten Punkte eingeführt. Fahrenheit ſchrieb an den Eispunkt nicht Null, ſondern 32, weil er die in dem ſtrengen Winter des Jahres 1709 erlebte Kälte, bei welcher das Thermometer um 32 Fahrenheit'ſche ($17^{7}/_{9}$ Centeſimalgrade) unter den Eispunkt herabging, als die möglich größte Kälte und den Nullpunkt der Scale als den eigentlichen Nullpunkt der Wärme anſah. Réaumur theilte ſeine Scale in 80 gleiche Theile, weil er gefunden hatte, daß 1000 Theile des von ihm zur Füllung der Thermometer angewendeten Weingeiſtes bei einer Erwärmung vom Eis- bis zum Siedepunkte des Waſſers ſich um 80 Theile ausdehnten. — Man ſieht indeß leicht ein, daß die Zahl der Grade, in welche man den Zwiſchenraum zwiſchen den beiden feſten Punkten theilt, an ſich durchaus willkührlich iſt; man wählt daher am zweckmäßigſten die bequemere Zahl 100.

Fahrenheit füllte Thermometer mit Queckſilber, Réaumur dagegen mit Weingeiſt. Im folgenden Paragraphen werden wir ſehen, daß das Queckſilber zur Füllung der Thermometer vor allen anderen Flüſſigkeiten den Vorzug verdient.

Nach den von Thomſon (1850) angeſtellten Unterſuchungen iſt auch der Nullpunkt (Eispunkt) des Thermometers von dem Luftdrucke nicht ganz unabhängig. Bei einem Drucke von 8 Atmoſphären wird derſelbe ohngefähr um $^{1}/_{10}{}^{0}$ erniedrigt.

*§. 231. Ausdehnung der luftförmigen, flüſſigen und feſten Körper durch die Wärme.

Daß bei zunehmender Wärme die Körper ihre Volumen vergrößern, bei abnehmender vermindern, iſt ein durch eine Menge bekannter Erfahrungen beſtätigter Satz. Eine metallene Kugel, welche bei der gewöhnlichen Temperatur durch einen Ring eben hindurchgeht, geht nicht mehr durch, wenn man dieſelbe erhitzt; der um das hölzerne Rad gelegte, glühende, eiſerne Reifen zieht ſich bei der Abkühlung ſo zuſammen, daß er an das Holz feſt anſchließt; das Queckſilber ſteigt oder fällt in dem Thermometer bei zu- oder abnehmender

Wärme; das Nehmliche thun alle anderen Flüssigkeiten, wenn man eine Thermometerröhre mit denselben füllt; eine mit Luft gefüllte, fest zugebundene Blase platzt, wenn man sie in die Nähe des geheizten Ofens bringt u. dgl. m.

Die Größe der Ausdehnung, welche verschiedene Körper bei gleichem Temperaturzuwachsen erfahren, ist sehr verschieden. Am stärksten dehnen sich die luftförmigen, weniger stark die flüssigen, am schwächsten die festen Körper aus. Während verschiedene feste oder flüssige Körper sich bei gleichem Zuwachsen der Temperatur weder gleich stark, noch nach gleichen Verhältnissen ausdehnen, ist die Größe der Ausdehnung für alle Gase nahe dieselbe. Dieß gilt jedoch nicht mehr, wenn bei verminderter Temperatur oder verstärktem Drucke ein gasförmiger Körper in den flüssigen Zustand übergeht, sondern nur so lange, als derselbe von diesem Uebergange noch weit entfernt ist. Für die atmosphärische Luft, welche auch in der größten Kälte und unter dem stärksten, bis jetzt angewendeten Drucke nicht flüssig wird, beträgt die Größe dieser Ausdehnung für eine Erwärmung von Null bis 100 Grad bei gleichbleibendem Drucke ohngefähr ein Drittel (genauer 0,3665) des ursprünglichen Volumens. Ein Volumen Luft dehnt sich daher ohngefähr in den doppelten Raum aus, wenn dasselbe um 300^0 (genauer 273^0) erwärmt wird.

Zur Ermittelung dieser Größe kann das folgende von Gay-Lüssac angewendete Verfahren dienen. An eine überall gleichweite Thermometerröhre wird eine Kugel angeblasen und zunächst das Verhältniß zwischen dem Raumesinhalte der Kugel und dem Raumesinhalte der Röhre dadurch ermittelt, daß man die Kugel und die Röhre bis zu verschiedenen Höhen mit Queckfilber füllt und aufs sorgfältigste abwägt, wobei man natürlich das Gewicht des Glases in Abrechnung bringt. Nach diesen Vorbereitungen läßt man die (durch Chlorcalcium) von Wasserdämpfen möglichst befreite, trockene atmosphärische Luft oder eine andere Gasart in die Röhre und in die Kugel eintreten, und sperrt dieselbe von der äußeren Luft durch ein kleines Queckfilbersäulchen a, Fig. 280, ab. Bringt man dann die Kugel und die Röhre in horizontaler Lage einmal in schmelzenden Schnee und das andere Mal in die Dämpfe von siedendem Wasser und bemerkt in beiden Fällen den Stand des Queckfilbersäulchens in der Röhre, so ergiebt sich hieraus und aus dem bekannten Verhältnisse zwischen dem Raumesinhalte der Röhre und der Kugel die Ausdehnung der Luft zwischen 0^0 und 100^0. Will man dieselbe für andere Temperaturen finden, so taucht man Kugel und Röhre in Wasser, welches man bis zu den fraglichen Temperaturen erwärmt hat, welche man durch ein in das Wasser eingetauchtes Queckfilberthermometer mißt. Die so erhaltenen Resultate bedürfen eigentlich noch einer Correction wegen der Ausdehnung des Glases; diese Correction ist jedoch sehr klein, da die Ausdehnung des Glases, verglichen mit der der Luft, nur unbedeutend ist.

(Fig. 280.)

Die so eben beschriebene und in Fig. 280 abgebildete Vorrichtung kann den Namen eines Luftthermometers erhalten. Dieses Thermometer hat die Unbequemlichkeit, daß seine Angaben eine vom Barometerstande abhängende Correction bedürfen, indem der Stand des Queckfilbersäulchens in der Röhre nicht bloß durch die Temperatur der eingeschlossenen Luft, sondern auch durch die Größe des Druckes der äußeren Luft bestimmt wird.

Wie wir gesehen haben, dehnen sich alle Gase, so lange sie von dem Uebergang in den flüssigen Zustand sehr entfernt sind, für gleiche Temperaturzuwachse fast gleich stark aus. Man nimmt daher an, daß die Ausdehnung der Gase dem wahren Gange der Wärme proportional erfolge. Diese Ansicht gewinnt noch an Wahrscheinlichkeit dadurch, daß auch die festen und flüssigen Körper für Temperaturen, welche von dem Schmelz- oder Siedepunkte derselben weit abstehen, sich, wenn auch weniger stark, doch nach demselben Verhältnisse wie die Gase ausdehnen, während diese Ausdehnungen mehrentheils ganz unregelmäßig erfolgen, wenn die Temperatur eines Körpers sich dem Punkte nähert, wo die Aenderung des Aggregatzustandes eintritt. Da nun bei den permanenten Gasen dieser Grund der Unregelmäßigkeit (Aenderung des Aggregatzustandes) ganz wegfällt, so gewinnt die Ansicht die größte Wahrscheinlichkeit, daß die für alle Gase fast gleiche Ausdehnung dem wahren Gange der Wärme entspricht. Dem zu Folge sieht man das Luftthermometer als das eigentliche Normalthermometer an und läßt die Angabe aller anderen Thermometer nur in so weit als richtig gelten, als sie mit dem Luftthermometer übereinstimmen.

Vergleicht man zunächst das Quecksilberthermometer mit dem Luftthermometer, so findet man, daß diese Uebereinstimmung für Temperaturen zwischen -25^0 und $+200^0$ fast vollkommen vorhanden ist. Man kann daher zwischen diesen Grenzen die Angaben des Quecksilberthermometers als den wahren Ausdruck der wirklich stattfindenden Temperaturverhältnisse ansehen. Das Quecksilberthermometer hat aber vor dem Luftthermometer den Vorzug einer weit größeren Bequemlichkeit, da bei diesem jede Beobachtung noch einer besonderen, vom Barometerstande abhängigen Correction bedarf.

Füllt man Thermometer mit anderen Flüssigkeiten, als Quecksilber, so findet man, daß dieselben weder unter sich, noch mit dem Luftthermometer übereinstimmen. Dieß ist der Grund, warum man dem Quecksilber vor allen anderen Flüssigkeiten zur Füllung der Thermometer den Vorzug gibt. Für sehr hohe Kältegrade jedoch wird das Quecksilberthermometer unbrauchbar, da die Ausdehnungen des Quecksilbers in der Nähe seines Schmelzpunktes (ohngefähr -40^0) unregelmäßig werden. Man bedient sich für dergleichen niedrige Temperaturen des Weingeistthermometers, indem der wasserfreie Weingeist, absoluter Alkohol, auch bei den höchsten Graden künstlicher Kälte nicht fest wird.

Eben so weicht für Temperaturen über 200^0 das Quecksilberthermometer vom Luftthermometer mehr oder weniger ab; man muß daher bei genauen Beobachtungen hoher Temperaturen sich des Luftthermometers bedienen.

Das so eben erwähnte Verfahren, Thermometer mit verschiedenen Flüssigkeiten zu füllen und den Gang derselben mit dem Luft- oder Quecksilberthermometer zu vergleichen, kann auch dazu dienen, wenn man das Verhältniß zwischen dem Raumesinhalte der Kugel und der Röhre kennt, die absolute Größe der Ausdehnung der angewendeten Flüssigkeit innerhalb bestimmter Temperaturen zu ermitteln, wenn man zugleich auf die Ausdehnung des Glases die nöthige Rücksicht nimmt.

Bei den festen Körpern unterscheidet man die lineare und die kubische Ausdehnung. Die erstere zeigt an, um wie viel sich die Länge oder eine andere Dimension, die letztere, um wie viel sich das Volumen (der Kubik-

inhalt) eines Körpers vergrößert hat. Man findet die lineare Ausdehnung aus welcher sich dann auch die kubische leicht berechnen läßt, indem man einen Stab aus der zu untersuchenden Substanz in einem Wasser- oder Oelbade auf verschiedene Temperaturen erwärmt und die Länge, welche derselbe hierbei annimmt, mit großer Genauigkeit abmißt. Man hat auf diese Art gefunden, daß die Ausdehnung für verschiedene feste Körper zwar ungleich ist, daß die meisten sich jedoch zwischen 0^0 und 100^0 gleichförmig, d. h. nach demselben Verhältnisse, wie die luftförmigen Körper, für höhere Temperaturen aber sich nach zunehmenden Verhältnissen ausdehnen.

Körper, welche in ihren Poren Feuchtigkeit enthalten, wie feuchter Thon, Holz, Papier u. dgl. m., ziehen sich beim Erwärmen zusammen, indem das in ihren Poren enthaltene Wasser ausgetrieben wird. Vollkommen trockenes Holz, Papier u. dgl. folgen jedoch dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung beim Erwärmen:

Tafel der linearen Ausdehnung fester Körper zwischen 0^0 und 100^0.

Name des Körpers.	Größe bei 100^0.	Name des Körpers.	Größe bei 100^0.
Blei	1,00278 1,00295	Marmor	1,00110 1,00040
Eisen (Schmiede-)	1,00113 1,00125	Messing	1,00176 1,00214
" (Guß-)	1,00098 1,00115	Platin	1,00085 1,00099
Glas	1,00125 1,00088	Silber	1,00195 1,00208
Gold	1,00123 1,00156	Tannenholz	1,00035 1,00050
Kupfer	1,00172	Zink	1,00296
" gewalztes	1,00169	Zinn	1,00177 1,00228

Bezeichnet X die kubische, x die lineare Ausdehnung, so ist

$$1 + X = (1 + x)^3 = 1 + 3x + 3x^2 + x^3.$$

Da jedoch x nur eine sehr kleine Zahl bedeutet, so kann man ohne erheblichen Fehler $X = 3x$ setzen, d. h. die kubische Ausdehnung ist dem Dreifachen der linearen Ausdehnung gleich.

Krystallisirte Körper, wie Kalkspath, Gyps u. dgl., welche nicht zum regulären Krystallsysteme gehören, dehnen sich, wie Mitscherlich in Berlin gezeigt hat, nach verschiedenen Richtungen verschieden aus.

Auf der ungleichen Ausdehnung der Metalle durch die Wärme beruhen unter andern das Compensationspendel, von welchem schon oben, §. 40, die Rede gewesen ist, und das Metallthermometer. Dieses besteht im Wesentlichen aus einem gekrümmten oder spiralförmig gewundenen Streifen, welcher aus zwei zusammengelötheten Metallen, welche eine sehr ungleiche Ausdehnung haben, wie z. B. Eisen und Messing oder Silber und Platin, zusammengesetzt ist. Bei einer jeden Temperaturveränderung erleiden die zusammengelötheten Metalle eine ungleiche Verlängerung oder Verkürzung: es muß daher auch die Krümmung des Streifens zu- oder abnehmen, wodurch ein mit demselben verbundener Zeiger, welcher über einen Bogen spielt, auf welchem die Grade verzeichnet sind, in Bewegung gesetzt wird. Die Graduirung dieser Instrumente, welche keinen wissenschaftlichen Werth haben, geschieht nach einem richtigen Quecksilberthermometer.

Ueber die Ausdehnung flüssiger Körper bemerken wir, daß das Quecksilber zwischen 0^0 und 200^0 für jeden Grad sich regelmäßig um $^1/_{5550}$ seines Volumens, für höhere Temperaturen aber sich nach einem stärkeren Verhältnisse ausdehnt. Ueber die Ausdehnung des Wassers und des Alkohols fügen wir nach Kopp die folgende Tabelle bei, aus welcher man ersehen wird, daß die Ausdehnungen dieser Flüssigkeiten sehr ungleichförmig erfolgen.

+	Wasser.	Alkohol.	+	Wasser.	Alkohol.
0°	1,000000	1,00000	15°	1,000695	1,01585
1	0,999947		20	1,001567	1,02128
2	0,999908		25	1,002715	1,02680
3	0,999885		30	1,004064	1,03242
4	0,999877		40	1,007531	1,04404
5	0,999883	1,00523	50	1,011766	1,05623
6	0,999903		60	1,016590	1,06910
7	0,999938		70	1,022246	1,08278
8	0,999986		80	1,028581	1,09735
9	1,000048		90	1,035397	
10	1,000124	1,01052	100	1,042986	

Nach neueren Untersuchungen von Regnault beträgt bei einer Erwärmung von 0° bis 100° und mittlerem Drucke die Ausdehnung für

Wasserstoffgas	0,3661	Stickstoffoxydulgas	0,3719
Atmosphärische Luft	0,3665	Cyangas	0,3877
Kohlensäure	0,3710	Schwefelige Säure	0,3903

Die Ausdehnung eines Gases ist hiernach zwischen den angegebenen Grenzen um so beträchtlicher, je eher dasselbe bei verminderter Temperatur und vergrößertem Drucke in den flüssigen Zustand übergeht. (Vergl. unten §. 239.)

Endlich wollen wir noch bemerken, daß man zur Abmessung höherer Temperaturen am zweckmäßigsten die Ausdehnung der Luft benutzt, indem die anderen zu diesem Zweck in Anwendung gebrachten Vorrichtungen, Pyrometer, mehrentheils ungenaue Resultate liefern. Das von Pouillet in Vorschlag gebrachte Verfahren besteht im Wesentlichen in Folgendem: — Ein luftdichtes Gefäß aus Platin wird in den Raum gebracht, dessen Temperatur man untersuchen will, und durch ein langes, ebenfalls aus Platin bestehendes Rohr mit einer graduirten, weiten, gläsernen Röhre verbunden, welche mit Quecksilber angefüllt ist, durch welches die Menge der durch die Wärme aus dem Platinbehälter ausgetriebenen und in die gläserne Röhre eintretenden Luft gemessen wird.

§. 232. Abweichendes Verhalten des Wassers zwischen 0° und + 4°.

Das Wasser zeigt, (wie ein Blick auf die in der Anmerkung zum vorhergehenden Paragraphen mitgetheilte Tabelle lehrt,) zwischen 0° und 4° eine höchst merkwürdige Ausnahme von dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung der Körper durch die Wärme, indem es sich beim Erwärmen von 0° bis 4° nicht ausdehnt, sondern zusammenzieht, bei 4°*) seine größte Dichtigkeit erreicht, über 4° erwärmt aber sich wieder ausdehnt, bei 8° nahe denselben Raum einnimmt, also auch die nehmliche Dichtigkeit hat, wie bei 0°, und dann weiter, von 8° bis 100° erwärmt, dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung der Körper durch die Wärme gemäß, fortfährt sich auszudehnen. Eben so zieht Wasser, welches von 100° bis 4° abgekühlt wird, sich, der allgemeinen Regel folgend, zusammen, dehnt sich aber gegen dieselbe, wenn es weiter von 4° bis 0° erkaltet, wieder aus und folgt dann, nachdem es fest geworden ist, sich in Eis verwandelt hat, wieder dem gewöhnlichen Gesetze, bei noch weiterer Verminderung seiner Temperatur sich zusammenzuziehen.

Während das Wasser bei der Abkühlung von 4° bis 0° sich allmählig etwas ausdehnt, (ohngefähr um $^1/_{80}$ Procent), vergrößert das bis auf 0° erkaltete Wasser bei dem Uebergange in den festen Zustand sein Volumen auf einmal um eine noch weit beträchtlichere Größe (5—7 Procent**).

*) Die Angaben verschiedener Physiker weichen von 3,8° bis 4,1° von einander ab.

**) Die Angaben verschiedener Physiker über das specifische Gewicht des Eises stimmen nicht genau überein, was wohl hauptsächlich darin seinen Grund hat, daß es schwer hält, das Eis ganz frei von Luftblasen zu bekommen.

Daß das Wasser bei dem Erstarren zu Eis sich beträchtlich ausdehnt, zeigen eine Menge bekannter Erfahrungen, welche hierin zugleich ihre Erklärung finden. Eis schwimmt auf dem Wasser, (während festes Blei in geschmolzenem zu Boden sinkt); mit Wasser gefüllte verschlossene Gefäße werden beim Frieren desselben zerrissen; selbst starke eiserne Bomben, in denen Wasser fror, wurden mit ungeheurer Heftigkeit zersprengt; eben so werden Felsen, in deren Spalten Wasser eingedrungen ist, beim Frieren desselben auseinander gerissen, worin eine der ersten Ursachen der, wenn auch allmählig, doch beständig fortschreitenden Zertrümmerung und Verwitterung der Felsengebirge besteht. Das Straßenpflaster, Thürschwellen u. dgl. werden durch den Frost gehoben, Wasserleitungen, Mauern, Bäume u. a. m. zerrissen. — Andererseits wirkt der Frost sehr nützlich zur Auflockerung des festeren, lehmigen Erdreichs; daher die große Erweichung lehmigen Bodens selbst bei trockener Witterung, wenn derselbe, in der Nacht gefroren, am Tage durch die Sonnenstrahlen aufthaut.

Einen nicht minder großen Nutzen gewährt das auf den ersten Blick vielleicht unerheblich scheinende, eigenthümliche Verhalten des Wassers bei dem Uebergange in den festen Zustand dadurch, daß es die Eisbildung auf Seen und Teichen — von Flüssen wird weiter unten noch besonders die Rede sein — wesentlich beschränkt. Wenn nehmlich mit dem Herannahen des Winters die Lufttemperatur immer mehr sinkt, so kühlt sich auch das Wasser in Seen und Teichen und zwar zunächst an der Oberfläche ab. Da das kältere Wasser, so lange seine Temperatur 4^0 übersteigt, schwerer ist, als das wärmere, so sinkt die oberste abgekühlte Schicht zu Boden und wärmeres Wasser aus der Tiefe steigt empor. Indem dieser Wechsel des erkalteten und des noch wärmeren Wassers sich beständig wiederholt, folgt die Temperatur der gesammten Wassermasse, obschon das Wasser ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, der verminderten Luftwärme bis 4^0 ziemlich rasch und zwar natürlich um so schneller, je geringer die Tiefe des Wassers ist. Weil aber bei fortgesetztem Sinken der Lufttemperatur und der Temperatur der mit der Luft in Berührung stehenden obersten Wasserschicht unter 4^0 diese sich ausdehnt, also leichter wird, sinkt dieselbe jetzt nicht mehr zu Boden, sondern bleibt an der Oberfläche schweben, erkaltet endlich bis 0^0 und erstarrt zu Eis. Da nun das Eis eben so, wie das Wasser, ein sehr geringes Leitungsvermögen der Wärme besitzt, so gewähren die entstandene Eisdecke und die obersten Wasserschichten einen Schutz gegen das weitere Eindringen der Kälte in die tieferen Schichten.

Ohne die Ausdehnung des Wassers bei dem Erkalten von 4^0 bis Null Grad und dem Erstarren zu Eis würde die Verminderung der Temperatur der gesammten Wassermasse eines Teiches oder Sees nicht bloß bis 4^0, sondern bis 0^0 schnell fortschreiten. Die Eisbildung würde am Grunde beginnen und sich nach der Oberfläche hin rasch ausdehnen. Selbst sehr tiefe Gewässer würden auf diese Art in unseren oder höheren Breiten in strengen Wintern bis auf den Grund zufrieren, und viele Gegenden der Erde würden eines der wichtigsten Nahrungsmittel, der Fische, fast ganz verlustig gehen.

Das Vorhergehende leidet jedoch auf das bewegte Wasser in Flüssen keine Anwendung, weil hier die Strömung eine so regelmäßige Ueberlagerung der Wasserschichten nach dem specifischen Gewichte verhindert, dieselben vielmehr beständig durch einander mischt und so bewirkt, daß die Erkaltung der ganzen Wassermasse von der Oberfläche bis zum Boden des Flusses nicht bloß bis

4°, sondern bis 0° fortschreitet. — Da die Krystallisation immer an festen Punkten zuerst beginnt, so bilden sich die ersten Eiskrystalle an den Ufern oder an Felsen, Pfählen u. dgl., besonders aber auf dem Boden der Flüsse, weil hier noch überdies die schwächere Strömung die Krystallbildung begünstigt. Indem die am Boden des Flusses entstandenen Eiskrystalle sich immer mehr vergrößern, werden sie auch immer stärker von dem Wasser gehoben, bis sie endlich losgerissen und nach der Oberfläche getrieben werden. Man sagt dann, der Strom treibe Grundeis. Mit der Vermehrung desselben wird die Bewegung des Stromes an der Oberfläche immer mehr gehemmt, die Eismasse kommt endlich zum Stehen, die noch leeren Zwischenstellen frieren zu, und es bildet sich über den Fluß eine gegen das weitere Eindringen des Frostes schützende Eisdecke.

Die Geschichte der Theorie des Grundeises gibt einen lehrreichen Beleg, wie nothwendig es ist, bei allen naturwissenschaftlichen Untersuchungen nicht von der Theorie, sondern von der Erfahrung auszugehen. Lange Zeit ist von den angesehensten Physikern trotz der verbürgtesten Zeugnisse die Existenz und die Möglichkeit des Grundeises in Abrede gestellt worden, indem man die oben für stehendes Wasser entwickelten Gründe auch ohne Weiteres für bewegtes Wasser geltend machte.

§. 233. Luftzug in Schornsteinen und geheizten Zimmern.

So wie wir im Vorhergehenden gesehen haben, daß Temperaturverschiedenheiten im Wasser Strömungen herbeiführen, so gilt dieses von der Luft wegen der stärkeren Ausdehnung derselben durch die Wärme in noch höherem Maaße.

Als das erste Beispiel wollen wir das Aufsteigen der Luft in den geheizten Schornsteinen oder Ofenpfeifen anführen. Es sei A, Fig. 281, das obere, B das untere Ende eines senkrecht stehenden Schornsteines, in welchem die Luft durch ein unter demselben angebrachtes Feuer zu einer höheren Temperatur als die äußere Luft erwärmt worden ist. Es sei ferner a der bei A stattfindende äußere Luftdruck, (die Länge einer dem äußeren Luftdrucke das Gleichgewicht haltenden Queckfilbersäule), d das Gewicht der äußeren kalten Luftsäule AB, (die Länge einer gleich schweren Queckfilbersäule), und d′ das Gewicht der im Schornstein enthaltenen erwärmten Luftsäule; dann ist a + d der Druck, welchen die äußere Luft, a + d′ aber der Druck, welchen die in dem Schornstein enthaltene Luft bei B ausübt; demnach übertrifft der äußere Druck den inneren um d — d′.

(Fig. 281.)

Mit einer dieser Differenz entsprechenden Kraft wird unten bei B die äußere kalte Luft in den Schornstein hineingetrieben. Mit derselben Kraft strebt sie aber auch oben bei A auszuströmen. Denn da der sich nach Innen fortpflanzende Druck der äußeren Luft, welcher bei B gleich a + d ist, durch das Gewicht d′ der im Schornstein enthaltenen Luftsäule vermindert wird, so ist der Druck, mit welchem die Luft im Schornstein oben bei A in die Höhe getrieben wird, gleich a + d — d′; derselbe übertrifft daher den äußeren Luftdruck bei A ebenfalls um die Größe d — d′.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die kalte Luft unten in den Schornstein bei B ein- und die warme Luft oben bei A aus demselben ausströmt, wird also gemessen durch die Größe d — d′, d. h. durch die Differenz zwi-

schen dem Gewichte der äußeren kalten und der inneren warmen Luftsäule; der Unterschied dieser Gewichte ist aber um so größer, also der Zug um so stärker, je mehr die Temperatur der Luft im Schornsteine die der äußeren Luft übertrifft und je größer die senkrechte Höhe des Schornsteines ist, d. h. je höher der Punkt A über B liegt; Sätze, welche durch die tägliche Erfahrung vollkommen bestätigt werden.

Es erklärt sich hieraus auch, warum der nehmliche Ofen stärker bei kalter, als bei milder Witterung, besser bei lebhaftem, als bei schwachem Feuer zieht u. dgl. m.

Sollte ein Schornstein irgend wo mit einer Seitenöffnung versehen sein, durch welche die Luft in hinreichender Menge abfließen könnte, so würde die Stärke des Zuges nicht mehr durch die Höhe des Schornsteines überhaupt, sondern nur durch die senkrechte Höhe dieser Oeffnung über dem untersten Punkte bestimmt werden.

Obschon die Stärke des Zuges im Allgemeinen mit der Höhe des Schornsteines wächst, so hat dieses doch in dem Umstande eine gewisse Grenze, daß die Luft sich um so mehr abkühlt, je höher der Schornstein ist, und daß mit der Länge des Schornsteines auch die Reibung der Luft an den Seitenwänden desselben zunimmt. Auch die Weite des Schornsteines ist nicht ohne Einfluß auf den Zug; ist derselbe zu eng, so wird für die Unterhaltung eines größeren Feuers nicht genug Luft in Bewegung gesetzt, ist aber das Feuer klein und der Schornstein zu weit, so wird die zu große Luftmasse in demselben nur schwach erwärmt und also nur ein schwacher Zug entstehen können. Da die Wärme der Luft im Schornsteine von unten nach oben abnimmt und die kältere Luft einen kleineren Raum einnimmt, als die wärmere, so läßt man zweckmäßig die Schornsteine nach oben hin etwas schmaler zulaufen.

Ganz auf den nehmlichen Gründen, welche wir so eben für den Zug in den Schornsteinen entwickelt haben, beruht auch der besonders zur Winterzeit lebhafte Zug an den Fugen nicht dicht schließender Thüren und Fenster, durch welchen ein beständiger Wechsel der Luft im Zimmer herbeigeführt und die durch das Athmen und durch Ausdünstungen verdorbene innere Luft durch reine Luft von Außen erneuert wird. Nehmen wir an, AB, Fig. 281, stelle nicht mehr einen geheizten Schornstein, sondern ein erwärmtes Zimmer, A eine nahe an der Decke, B eine nahe am Boden befindliche Oeffnung vor, so übertrifft, wie wir oben gezeigt haben, unten bei B der äußere Luftdruck den inneren, weshalb hier die kalte Luft einwärts strömt, während oben bei A der innere Luftdruck den äußeren übertrifft, und daher die warme Luft des Zimmers nach Außen strömt. Zwischen A und B muß es offenbar eine Stelle geben, wo der äußere und innere Luftdruck gleiche Größe haben und folglich durch eine an dieser Stelle angebrachte Oeffnung gar keine Strömung, weder nach Außen, noch nach Innen, stattfinden würde.

Von der Uebereinstimmung dieser theoretischen Betrachtungen mit der Erfahrung kann man sich leicht dadurch überzeugen, daß man zur Winterszeit längs der Kante einer nicht dicht schließenden Thüre eines geheizten Zimmers eine Lichtflamme langsam auf- und niederführt: diese wird unten am stärksten nach Innen, oben am stärksten nach Außen abgelenkt; die eine, wie die andere Ablenkung nimmt mit der Entfernung vom oberen oder unteren Rande immer mehr ab, und ohngefähr in der Mitte gibt es eine Stelle, an welcher gar keine Ablenkung der Lichtflamme, also auch kein Zug, stattfindet.

So wie wir gesehen haben, daß in einem Canale, dessen Temperatur die der äußeren Luft übertrifft, ein Strömen der eingeschlossenen wärmeren Luft von Unten nach Oben stattfinden muß, so wird umgekehrt in einem Canale, in dessen Innerem eine niedrigere Temperatur, als außerhalb herrscht, sich die Luft in der entgegengesetzten Richtung, also von Oben nach Unten bewegen müssen. Es erklärt sich hieraus die Erscheinung, daß aus Spalten und Höhlen an den Abhängen der Hochalpen, welche durch Höhlen und Klüfte mit den höher gelegenen, beständig mit Eis und Schnee bedeckten Theilen des Gebirges in Verbindung stehen, während des Sommers eine kalte Luft ausströmt, deren Temperatur bis auf 5°—8° herabgeht, während die Luft im Freien eine Temperatur von 15°—18° zeigt. Die Eingebornen benutzen diesen Umstand, um in jenen Höhlen Milch, Fleisch und andere Speisen längere Zeit aufzubewahren.

Gewöhnlich wird der Satz, daß die kalte Luft unten in die warme, die warme oben in die kalte eindringt, in den physikalischen Lehrbüchern als eine Art Axiom vorgetragen, oder es wird die Verschiedenheit des specifischen Gewichtes der warmen und kalten Luft als Grund angegeben. Aber aus diesem Grunde allein würde sich eben so gut auch ein Einströmen und Niedersinken der äußeren kälteren Luft am oberen Rande der geöffneten Thüre eines geheizten Zimmers und ein Ausströmen und Emporsteigen der inneren wärmeren Luft am unteren Rande erklären lassen.

§. 231. Von den herrschenden Winden.

Durch die ungleiche Erwärmung der Luft werden auch die größeren Strömungen in derselben, die Winde, hauptsächlich herbeigeführt, obschon in einzelnen Fällen bei Entstehung derselben auch andere Ursachen (verschiedener Feuchtigkeitsgehalt der Luft, Electricität u. a. m.), jedoch in untergeordnetem Maaße, mitwirken mögen.

Ein besonders deutliches Beispiel bieten zunächst die Land- und Seewinde dar, welche an den Küsten des Meeres, auch wohl größerer Seen, in regelmäßigem Wechsel am Tage von der See her, des Nachts von dem Lande her wehen. Im Allgemeinen sind diese Winde nur schwach; sie zeigen sich am deutlichsten in der heißen Zone, jedoch auch hier nur dann, wenn kein anderer stärkerer Wind vorherrscht. Sie erstrecken sich nicht tief landeinwärts, sondern sind auf die Küsten beschränkt und werden auch auf der See in größerer Entfernung von der Küste nicht wahrgenommen. Der von der See nach dem Lande wehende Wind beginnt in der Regel einige Stunden nach Sonnenaufgang, erreicht gegen zwei bis drei Uhr Nachmittags seine größte Stärke und hört einige Stunden nach Sonnenuntergang auf. Der vom Lande nach der See wehende Wind beginnt etwa gegen Mitternacht und dauert bis nach Sonnenaufgang. Beide, Land- und Seewind, sind durch Windstille von einander getrennt.

Die Erklärung dieser Winde ergibt sich sehr leicht aus den Ungleichheiten der Temperaturen des Landes und des Wassers und der über denselben lagernden Luftschichten am Tage und während der Nacht. Am Tage wird nehmlich das feste Land stärker als das Wasser durch die Sonnenstrahlen erwärmt. In Folge hiervon erlangt auch die über dem Lande ruhende Luftsäule eine höhere Temperatur, als die Luft über dem Wasser; es muß daher aus denselben Gründen, welche wir oben in Hinsicht der nicht dicht schließenden Thüre eines geheizten Zimmers entwickelt haben, unten die kältere Luft von der See her in die wärmere über dem Lande eindringen, oben aber die wärmere abfließen. Während der Nacht dagegen kühlt sich das feste Land durch Strahlung, (von welcher weiter unten, §. 250, ausführlicher die Rede sein wird), stärker ab, als das Wasser, weshalb dann die entgegengesetzten Strömungen eintreten müssen.

Das Verhältniß ungleicher Temperatur, welches in dem angeführten Beispiele während des Tages und der Nacht wechselte, findet durch das ganze Jahr zwischen den verschiedenen Zonen der Erde, ins Besondere den Gegenden in der Nähe des Aequators und in der Nähe der Pole statt und muß folglich eine fortwährende zwiefache Strömung der Luft herbeiführen. Es muß nehmlich aus den im Vorhergehenden entwickelten Gründen unten beständig die kältere Luft von den Polen nach dem Aequator, in den oberen Regionen aber die wärmere Luft vom Aequator nach den Polen hin strömen.

Hiernach will es auf den ersten Blick scheinen, als wenn an der Oberfläche der Erde auf der ganzen nördlichen Halbkugel Nordwind, auf der südlichen Südwind vorherrschen müßte. Hiervon bringt jedoch zunächst die Azendrehung der Erde eine sehr bedeutende Abweichung hervor. Denken wir uns nehmlich, einem Lufttheilchen oder irgend einem anderen Körper werde ein Impuls ertheilt, sich vom Pole nach irgend einem bestimmten Punkte des Aequators zu bewegen, so wird dieser Körper keineswegs den Punkt des Aequators, auf welchen er ursprünglich gerichtet war, sondern einen mehr westlich gelegenen Punkt erreichen, weil die Erde während der Dauer seiner Bewegung sich von Westen nach Osten um ihre Axe gedreht hat. Der bewegte Körper wird daher auch einem am Aequator befindlichen Beobachter nicht gerade aus Norden, sondern aus einer nordöstlichen Richtung zu kommen scheinen. — Dasselbe, was wir über einen vom Pole nach dem Aequator bewegten Körper gesagt haben, gilt im Wesentlichen überhaupt von jedem Körper, welchem ein Impuls, sich aus höheren nach niederen Breiten zu bewegen, ertheilt worden ist. Derselbe erreicht den Punkt nicht, auf welchen seine Bewegung ursprünglich gerichtet war, sondern er kommt in einem mehr westlich gelegenen Punkte an, weil vermöge der Azendrehung der Erde die dem Aequator näher gelegenen Punkte sich mit einer größeren Geschwindigkeit, als die von demselben entfernteren Punkte, in der Richtung von Westen nach Osten bewegen. Es müssen daher auch die beständigen Strömungen der kälteren Luft von den Polen nach dem Aequator hin bei ihrem Fortschreiten mehr und mehr nach Westen hin abgelenkt werden, also immer mehr eine östliche Richtung annehmen, je weiter sie aus höheren Breiten in niedere vordringen.

Diese beiden Polarströme der Luft in den unteren Regionen an der Erdoberfläche zeigen sich vollkommen deutlich in den zu beiden Seiten des Aequators in der heißen Zone das ganze Jahr hindurch in nord- und südöstlicher Richtung wehenden Passatwinden, welche in dem vorher Gesagten ihre vollständige Erklärung finden. (Da dieselben der heißen Zone beständig die kältere Luft aus den höheren Breiten zuführen, so tragen sie wesentlich dazu bei, die Hitze der tropischen Gegenden zu mildern.)

Die Passatwinde zeigen sich jedoch in ihrer vollen Regelmäßigkeit nur in großen Meeren, besonders in dem großen Ocean, indem in der Nähe der Küsten die Land- und Seewinde, im Inneren des Landes Gebirgszüge ihre Regelmäßigkeit stören. Nur in ganz flachen Gegenden, z. B. in den Ebenen Südamerika's, in dem sich von Osten nach Westen erstreckenden Flußbette des Amazonenstromes, bringt der Ostpassat bis tief in das Land hinein. Von den beiden Passaten erstreckt sich der nordöstliche bis auf ohngefähr 30^0, der südöstliche nur ohngefähr bis auf 25^0 vom Aequator. Diese ungleiche Verbreitung der Passate findet in der größeren Ländermasse der nördlichen Erd-

hälfte und der stärkeren Erwärmung derselben durch die Sonnenstrahlen ihre Erklärung.

Beide Passate sind durch einen ganz an der nördlichen Seite des Aequators liegenden Gürtel von etwa 6° Breite getrennt, in welchem Windstillen mit den heftigsten Stürmen und Gewitterregen wechseln. In dieser Zone der so genannten Windstillen oder Calmen, in welcher die Luft durch die Sonnenstrahlen am stärksten erwärmt wird, hat der aufwärts gehende Luftstrom die größte Lebhaftigkeit, wodurch die Richtung der horizontalen Strömung gestört oder aufgehoben wird. Die Zone der Calmen, sowie auch die Zonen des nord- und südöstlichen Passatwindes, sind nicht das ganze Jahr hindurch in die nehmlichen Grenzen eingeschlossen; diese Grenzen sind vielmehr wegen des verschiedenen Standes der Sonne in den verschiedenen Jahreszeiten einigen Veränderungen unterworfen. Die Zone der Calmen ist außerdem, eben so wie die Zonen der Passate, bei weitem deutlicher über dem Meere, als auf dem Festlande hervortretend.

Beide Passate wehen am gleichmäßigsten, sowohl in Hinsicht der Richtung, als auch der Stärke in der Mitte des Gürtels, welchen jeder von ihnen einnimmt. In dieser Gegend herrscht mit dem gleichen Winde das ganze Jahr hindurch auch eine gleichmäßige Temperatur und ein beständig heiterer Himmel; Regen gehört zu den Seltenheiten, da es hier an einer Vermischung verschiedener Luftströme in der Regel fehlt.

Während die Passatwinde, wie wir gezeigt haben, ihre Entstehung dem unteren Strome der kälteren Luft aus den höheren Breiten nach dem Aequator hin verdanken, muß in den oberen Regionen die emporgestiegene wärmere Luft in der entgegengesetzten Richtung abfließen, also dem unteren nordöstlichen Passate in den oberen Regionen ein Südwestwind, dem südöstlichen Passate ein Nordwestwind entsprechen. Erfahrungen, welche sich für das Vorhandensein dieser oberen westlichen Ströme anführen lassen, sind folgende:

Auf der Spitze des Pics von Teneriffa trifft man gewöhnlich westliche Winde an, während auf dem Meere in der Nähe der Insel der Nordpassat der herrschende Wind ist. Im Jahre 1812 fiel auf der Insel Barbados, während der Nordpassat wehte, ein Aschenregen nieder, welcher seine Entstehung dem westlich gelegenen Vulkane der Insel St. Vincent verdankte. An den südwestlichen Küsten von Portugal und Spanien und an den nordwestlichen Küsten von Afrika fallen nicht selten Staubmassen, so genannter Staubregen nieder, welche nach den Untersuchungen von Ehrenberg Reste von Infusorien enthalten, die theils lebend, theils fossil bis jetzt nirgends anders, als in den dürren und staubigen Steppen Südamerika's beobachtet worden sind und von da nur durch die in südwestlicher Richtung wehenden oberen Luftströmungen nach den Küsten von Afrika und Europa gelangt sein können. Eben so sollen in den tropischen Gegenden die Wolken in den höheren Regionen gewöhnlich einer dem Passatwinde entgegengesetzten Richtung folgen.

Indem der vom Aequator nach den Polen gerichtete obere Strom bei weiterem Vordringen sich immer mehr abkühlt, senkt sich derselbe allmählig bis zur Erdoberfläche und geht nun nicht mehr über dem Polarstrome, sondern neben demselben her. Es müssen daher in den weiter vom Aequator entfernten Gegenden der nördlichen gemäßigten Zone vorzüglich nordöstliche Winde mit südwestlichen abwechseln, je nachdem über eine Gegend der polare oder aequatoreale Strom seinen Weg nimmt. Zwischen

diesen Hauptrichtungen liegende Winde aber müssen entstehen, wenn beim Zusammentreffen des südlichen und nördlichen Stromes der eine in den anderen eindringt und denselben verdrängt.

Nachdem schon Halley 1686 auf die ungleiche Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen als Ursache der Passatwinde hingewiesen hatte, ist die vollständige, zugleich auf die Axendrehung der Erde gegründete Erklärung derselben, wie wir sie oben im Haupttexte vorgetragen haben, zuerst von Hadley 1735 gegeben worden.

Auf der ganzen nördlichen Halbkugel übertreffen, wie neuere Beobachtungen gelehrt haben, die westlichen Winde an Häufigkeit die östlichen, was sich auf folgende Art erklärt. Da der Nord- oder Oststrom eine niedrigere Temperatur hat, als der Süd- oder Weststrom, und kalte Luft einen geringeren Raum einnimmt, als warme, so muß der letztere den ersteren an Ausdehnung und folglich auch für den nehmlichen Beobachtungsort im Allgemeinen an Häufigkeit übertreffen. Der wärmere und eben deßhalb an Dämpfen reichere Südstrom verliert, indem er sich bei weiterem Vordringen nach dem Pole immer mehr abkühlt, in wiederholten Niederschlägen an Dampfgehalt, während der Nordstrom bei seiner Annäherung an den Aequator sich immer mehr erwärmt und Dämpfe aufnimmt. Es strömt daher nicht bloß scheinbar, sondern wirklich eine größere Menge luftförmiger Massen vom Aequator nach den Polen hin, als durch den entgegengesetzten Strom zurückgebracht wird.

Im Allgemeinen bringen nördliche und östliche Winde einen hohen, südliche und westliche Winde einen niedrigen Barometerstand, jene die wenigsten, diese die meisten Niederschläge, Regen oder Schnee.

Nach der vorhergehenden Darstellung brauchen wir wohl nicht noch besonders darauf aufmerksam zu machen, daß die meisten Winde nicht wirklich aus der Gegend kommen, aus welcher sie zu kommen scheinen. Der Nordostwind führt uns nördlichere, der Südwestwind südlichere Luftmassen zu, als der Nord- oder Südwind selbst.

Nach einer schon aus älterer Zeit bekannten Erfahrung, deren Allgemeingiltigkeit jedoch erst in neuerer Zeit durch Dove in Berlin festgestellt worden ist, erfolgt die Drehung des Windes häufiger mit, als gegen die Sonne. Wir müssen jedoch die von Dove gegebene Erklärung hier übergehen und verweisen in Hinsicht derselben auf Pogg. Ann. B. 67.

Zu den regelmäßigen Winden gehören auch die Moussons, welche die eine Hälfte des Jahres mehrentheils in der einen, die andere Hälfte in der entgegengesetzten Richtung wehen. Dieselben sind besonders ausgezeichnet in dem indischen Meere und entstehen durch die ungleichen Wärmeverhältnisse des Meeres und des asiatischen Continents während der Sommer- und Wintermonate in ganz ähnlicher Art, wie wir dieß oben für die abwechselnd am Tage und während der Nacht wehenden Land- und Seewinde gezeigt haben.

Diese Vertheilung des Meeres und des ausgedehnten Festlandes von Asien übt auch, wie Dove in Berlin gezeigt hat, auf die Luftströmungen in weit außerhalb der Grenzen der Moussons gelegenen Gegenden einen bedingenden Einfluß aus. Indem nehmlich während des Sommers in Folge der Erhitzung des Bodens durch die Sonnenstrahlen der Luftdruck in ganz Asien bis zu hohen Breiten hinauf stark abnimmt, strömt von allen Seiten die Luft nach diesen Gegenden des verminderten Druckes hin. Außer den schon angeführten Moussons, welche während des Sommers in den indischen Meeren in südwestlicher Richtung wehen, finden hierin auch die im Sommer vorwaltende nordwestliche Windesrichtung in Europa und die vorherrschende östliche Windesrichtung an den Ostküsten von Asien ihre Erklärung.

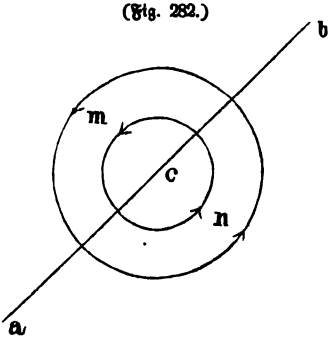
Einen noch beträchtlicheren Einfluß auf die klimatischen Verhältnisse Europa's übt, wie neuerdings (1856) Bettin insbesondere für Berlin nachgewiesen hat, der die westlichen und östlichen Küsten umspielende Ocean aus. Die niedrigere Temperatur des westlichen Meeres im Sommer, die höhere Temperatur desselben im Winter muß in jener Jahreszeit westliche, in dieser östliche Strömungen der untern Luftschichten veranlassen, deren Mischung mit dem Polar- und Aequatorealstrom die große Mannichfaltigkeit und den vielfachen Wechsel in der Windesrichtung herbeiführt. — Wenn im Frühlinge das feste Land von Europa durch die Strahlen der sich immer höher erhebenden Sonne bereits stark erwärmt wird, halten die weiten Eisfelder des nördlichen Oceans noch die volle Winterkälte gebunden, und erst allmählig im Laufe des Sommers weichen die Ränder des Polareises nach Norden zurück, bis sie gegen den Herbst die äußerste nördliche Grenze erreichen. Indem aber jetzt das flüssige Wasser die gebundene Wärme

stärker festhält, als das sich durch Ausstrahlung rascher abkühlende Land, übertrifft im Herbste die Temperatur des nördlichen Meeres die des südlicher gelegenen Festlandes von Europa. Es muß daher diese Verschiedenheit in der Temperatur des Meeres und des festen Landes im Frühlinge nördliche, im Herbste südliche Strömungen in den unteren Luftschichten erzeugen, welche den Herbst warm und sommerähnlich, den Frühling rauh und winterähnlich machen, für jene Jahreszeit den sogenannten Nachsommer, für diese den Nachwinter hervorrufen.

Das Vorhergehende betraf zunächst nur die regelmäßigen Winde, welche gewöhnlich nur eine mäßige Stärke haben. Die heftigsten Winde, die Stürme, sind meist nur von kurzer Dauer und auf einen engen oder schmalen Raum beschränkt. Häufig hat der Sturmwind an nicht weit auseinander liegenden Orten eine entgegengesetzte Richtung; auch an dem nehmlichen Orte ist die Richtung des Windes während eines Sturmes veränderlich und durchläuft nicht selten die ganze Windrose, oder auf das stärkste Toben des Sturmes aus der einen Richtung folgt plötzlich Windstille und dann wieder der heftigste Sturm in der entgegengesetzten Richtung, eine Erscheinung, welche sich besonders häufig bei den durch ihre große Heftigkeit ausgezeichneten Stürmen der heißen Zone zeigt, welche meist von der Region der sogenannten Windstillen ausgehen*).

Die angeführten Erscheinungen lassen sich durch die Annahme erklären, daß die Luft bei den Stürmen eine wirbelförmige Bewegung hat. Ist ab, Fig. 282, die Linie, welche das Centrum c des Wirbels durchläuft, so muß an zwei zu beiden Seiten dieser Linie liegenden Orten m und n der Wind gleichzeitig entgegengesetzte Richtungen haben. Geht aber über einen Ort das Centrum c, so muß nach einer vorübergehenden Windstille die Richtung des Sturmes in die entgegengesetzte überspringen.

(Fig. 282.)



Zu den auf einen noch engeren Raum beschränkten Wirbeln dürften auch die Windhosen oder Trombe zu rechnen sein. Man unterscheidet, je nachdem dieselben sich über das Land oder über das Wasser bewegen, Land- und Wasserhosen. Sie bestehen aus zwei mit den Spitzen zusammenstoßenden kegelförmigen Theilen, von denen der obere durch eine herabhängende Wolke, der untere bei den Wasserhosen durch eine emporgehobene Wassersäule, bei den Landhosen aber durch Staub und andere leichte Körper gebildet wird. Sie schreiten mit einer mehr oder weniger großen Geschwindigkeit fort und stehen in ihren Wirkungen den heftigsten Sturmwinden nicht nach. Sie erstrecken sich nur über einen schmalen Strich, dessen Breite einige hundert Fuß nicht übersteigt. Zu beiden Seiten dieses schmalen Striches, über welchen die Windhose sich bewegt, und innerhalb dessen sie die größten Verheerungen anrichtet, Bäume entwurzelt, Gebäude niederreißt, Balken und Steine emporhebt und mit sich fortführt, findet nicht selten völlige Windstille statt.

Die Veranlassungen, durch welche solche Wirbel herbeigeführt werden, können von sehr mannichfaltiger Art sein. So wie im Wasser beim Zusammentreffen zweier Ströme oder, wo ein Wasserstrom auf Hindernisse stößt, Wirbel entstehen, so muß dasselbe noch weit eher in der so viel leichter beweglichen Luft geschehen.

Endlich wollen wir noch bemerken, daß Winde selbst durch eine, auf einen verhältnißmäßig sehr engen Raum beschränkte, ungleiche Erwärmung der Luft hervorgerufen werden können, wie dieß nicht selten bei Feuersbrünsten, besonders aber bei großen Waldbränden beobachtet wird.

*§. 235. Von den Strömungen im Meere.

So wie die ungleiche Erwärmung der Erde durch die Sonnenstrahlen ein beständiges Abfließen der oberen wärmeren Luft von dem Aequator nach den Polen und ein Strömen der unteren kalten Luft von den Polen nach dem

*) Eine Beschreibung eines solchen Sturmes findet man u. a. in Gehler's Lexicon B. X. S. 2051.

Aequator hin bewirkt, so muß aus gleichen Gründen auch im Meere das wärmere Wasser an der Oberfläche vom Aequator nach den Polen und das kältere Wasser in der Tiefe von den Polen nach dem Aequator strömen. Diese Strömungen können jedoch, verglichen mit den Luftströmungen, wegen der weit geringeren Ausdehnung des Wassers durch die Wärme, nur eine geringe Stärke besitzen. Ueberdieß erleidet der obere Strom durch entgegenstehende Küsten, durch Winde, durch Ebbe und Fluth u. dgl. so vielfache Störungen, daß für das Vorhandensein desselben mehr theoretische Gründe, als directe Beobachtungen sprechen. Die Beobachtung des unteren kälteren Stromes aber wird durch seine Lage in der Tiefe erschwert.

Zu den Erscheinungen, welche in dieser Strömung ihre Erklärung finden, gehört zunächst die überall in der gemäßigten und heißen Zone abnehmende Temperatur des Meerwassers mit der Tiefe. Selbst zwischen den Wendekreisen, in Gegenden, wo die Temperatur des Meerwassers an der Oberfläche 26^0 betrug, hat man aus großen Tiefen Meerwasser geschöpft, dessen Temperatur die des Eispunktes um weniger, als 3^0 übertraf.

Die große Verschiedenheit, welche das Meerwasser in der heißen Zone in der Nähe der Oberfläche und in großen Tiefen zeigt, muß wesentlich beitragen, die Menge und Mannichfaltigkeit der Thiere in den tropischen Meeren zu erhöhen, indem außer denjenigen Thieren, welchen das obere wärmere Wasser zusagt, andere in der Tiefe das nehmliche kühlere Wasser, wie in höheren Breiten antreffen. (In ganz ähnlicher Art erzeugt in den tropischen Ländern die Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe auf hohen Bergen eine der gemäßigten und selbst der kalten Zone ähnliche Vegetation.)

Eine andere Erscheinung, deren Erklärung sich einfach aus der Strömung des kalten Wassers in der Tiefe von den Polen nach dem Aequator hin ergibt, ist die von Seefahrern häufig beobachtete plötzliche Abnahme der Temperatur des Meerwassers über Untiefen. Das in der Tiefe strömende kalte Wasser steigt nehmlich an den Untiefen wie auf einer schiefen Ebene empor und nähert sich so der Oberfläche.

Von anderen, mehr localen Meeresströmen wird zweckmäßiger in der Geographie gehandelt; von dem Golphstrom wird noch weiter unten im §. 255 die Rede sein.

B. Veränderung des Aggregatzustandes.

§. 236. Vom Schmelzen.

Wir haben im Vorhergehenden die Ausdehnung der Körper als die erste Hauptwirkung der Wärme kennen gelernt; die zweite besteht in der *Veränderung des Aggregatzustandes*. Feste Körper gehen bei vermehrter Wärme in den flüssigen, flüssige in den luftförmigen Zustand über. Wir beschäftigen uns hier zunächst mit der ersteren Erscheinung, mit dem *Schmelzen* der festen Körper.

Wenn man an einem kalten Wintertage eine Schüssel mit Schnee oder zerstoßenem Eise in eine geheizte Stube bringt, so wird ein in den Schnee oder das Eis eingetauchtes Thermometer anfangs nach Maaßgabe der äußeren Lufttemperatur bis auf mehrere Grade unter den Nullpunkt fallen, dann aber sich allmählig bis zu diesem Punkte erheben, indem dem Schnee oder Eise Wärme von den Umgebungen in der geheizten Stube zugeführt wird. So wie das Eis die Temperatur von 0^0 erreicht hat, fängt es an zu schmelzen; und *das Thermometer* steigt nun nicht mehr, sondern *bleibt* eine längere

Zeit unveränderlich auf Null Grad stehen, so lange nehmlich, bis aller Schnee geschmolzen ist. Selbst wenn man, um den Schmelzungsproceß zu beschleunigen, unter dem Gefäße Feuer, z. B. eine brennende Spirituslampe anbringt, bleibt doch das Thermometer so lange auf Null Grad stehen, als noch ungeschmolzenes Eis vorhanden ist. Erst nachdem alles Eis in Wasser verwandelt worden ist, fängt das Thermometer wieder an zu steigen und fährt hiermit bis zu der Temperatur des Siedepunktes fort. Ist diese erreicht, so tritt zum zweiten Male ein Stillstand ein. Während der ganzen Dauer des Siedens zeigt das Thermometer unveränderlich die nehmliche Temperatur von 100 Grad und steigt erst dann wieder, nachdem alles Wasser in Dampf verwandelt worden ist.

Da hiernach die Wärme, welche dem Wasser während des Schmelzens oder Siedens zugeführt wird, keine Erhöhung der Temperatur bewirkt, sondern lediglich zur Aenderung des Aggregatzustandes verwendet wird, so nennt man dieselbe latente oder gebundene Wärme.

Wir berücksichtigen hier zunächst nur die beim Schmelzen gebundene Wärme. Die nehmliche Wärmemenge, welche erforderlich ist, ein Pfund Eis in Wasser zu verwandeln, würde im Stande sein, ein Pfund Wasser von 0^0 auf 80^0*) zu erwärmen. Man kann sich von der Richtigkeit dieser Angabe überzeugen, wenn man ein Pfund pulverisirtes Eis mit einem Pfund Wasser von 80^0 vermischt; man erhält dann als Product der Mischung zwei Pfund Wasser von 0^0. Indem also das eine Pfund Wasser 80^0 Wärme abgegeben hat, so ist das Pfund Eis in Wasser von 0^0 verwandelt worden.

Was wir bisher vom Schmelzen des Eises gesagt haben, gilt im Wesentlichen auch vom Schmelzen anderer festen Körper. Allemal wird bei dem Uebergange eines festen Körpers in den flüssigen Zustand Wärme gebunden. Die Menge dieser Wärme ist für verschiedene Körper verschieden. (Es weichen aber die Angaben der Physiker hierüber sehr von einander ab.)

Dieselbe Wärmemenge, welche beim Schmelzen eines festen Körpers gebunden wird, wird beim Uebergange dieses Körpers aus dem flüssigen in den festen Zustand wieder frei. Vermöchte man z. B. ein Pfund Wasser von Null Grad mit einem Pfund Eis von -80^0 zu vermischen, so würde man als Product der Mischung zwei Pfund Eis von Null Grad erhalten. Bei der Unausführbarkeit dieses Versuches kann man sich von der Richtigkeit des Gesagten durch folgendes Verfahren überzeugen.

Wenn man ein Gefäß mit Wasser, in welches man ein Thermometer eingesenkt hat, an einem kalten Wintertage im Freien aufstellt und dasselbe gegen jede Erschütterung schützt, (zur Abhaltung des Luftzuges die Oberfläche des Wassers mit einer Oelschicht bedeckt), so kann das Wasser bis auf zehn und mehr Grad unter Null erkalten, ohne zu Eis zu erstarren. So wie man aber dasselbe ein wenig erschüttert, erstarrt ein Theil des Wassers plötzlich zu Eis und zwar der achte Theil, wenn die Temperatur des Wassers bis auf -10^0 herabgegangen war; die übrigen sieben Achtel bleiben flüssig, und das in das Wasser eingetauchte Thermometer steigt rasch von -10^0 bis auf Null Grad. Durch die beim Erstarren des einen Achtels frei werdende Wärme hat sich folglich die ganze Masse um 10^0 erwärmt.

*) Genauer $79{,}25^0$.

Diese Erscheinung, daß ein Pfund Wasser von Null Grad 80° Wärme mehr enthält, als ein Pfund Eis von Null Grad, daß also das Eis erst diese bedeutende Wärmemenge aufnehmen muß, um in Wasser verwandelt zu werden, und umgekehrt dem Wasser die nehmliche Wärmemenge entzogen werden muß, wenn dasselbe zu Eis erstarren soll, ist im Haushalte der Natur von nicht geringer Wichtigkeit. Ohne diesen Umstand würde das Schmelzen des Eises und Schnees bei eintretender Frühlingswärme fast plötzlich erfolgen und meist von den verheerendsten Ueberschwemmungen begleitet sein. Eben so würden, wenn mit dem beginnenden Winter die Lufttemperatur unter Null Grad herabgeht, die Flüsse und Seen äußerst rasch sich mit Eis bedecken und die Schifffahrt plötzlich unterbrochen werden u. dgl. m.

Auf der latenten Wärme beruhen auch die Mischungen, welche dazu dienen, künstliche Kälte zu erregen. Mischt man z. B. drei Pfund Schnee und ein Pfund Kochsalz von Null Grad, so sinkt die Temperatur der Mischung bis zu — 17,8° (dem Fahrenheit'schen Nullpunkte). Damit nehmlich Schnee und Salz, welche eine große Neigung sich zu vereinigen haben, sich wirklich verbinden können, müssen erst beide aus dem festen in den flüssigen Zustand übergehen, wozu die Aufnahme (das Latentwerden) einer großen Menge Wärme erforderlich ist. — Umgekehrt wird Wärme frei, wenn zwei flüssige Körper oder ein fester und ein flüssiger Körper eine feste Verbindung eingehen, woraus sich die starke Erhitzung erklärt, wenn man gebrannten Kalk mit Wasser übergießt, welches sich mit dem Kalke zu einem festen Körper (Kalkerdehydrat) verbindet.

Auch bei dem Krystallisiren in Flüssigkeiten aufgelöster fester Körper wird Wärme frei.

Die latente Wärme des Wassers ist zuerst von dem Engländer Black 1763 nachgewiesen worden.

Wenn man in einem Medizingläschen eine Auflösung von einem Theile Wasser und zwei Theilen krystallisirtem Glaubersalz bis zum starken Sieden erhitzt, so daß in dem Fläschchen über der Auflösung ein luftleerer, nur mit Dämpfen erfüllter Raum entsteht, hierauf das Fläschchen rasch verkorkt und die allmählig erkaltende Auflösung gegen jede Erschütterung schützt, so bleibt dieselbe flüssig. Oeffnet man nach dem Erkalten das Fläschchen und taucht in die Auflösung ein Thermometer, so tritt eine rasche Krystallisation des Glaubersalzes und eine so merkliche Zunahme der Temperatur ein, daß dieselbe sich nicht bloß am Thermometer, sondern auch durch das Gefühl zu erkennen gibt. — Noch stärker ist die Temperaturerhöhung beim Erstarren des unterschwefeligsauren Natrons, welchem man kein Wasser zuzusetzen nöthig hat, da es in seinem Krystallwasser schmilzt.

Die Landleute benutzen die latente Wärme des Wassers, um in nicht tiefen Kellern Obst, Kartoffeln u. s. w. gegen den Frost zu schützen, indem sie neben dieselben Gefäße mit Wasser stellen.

So wie wir oben gesehen haben, daß sich Wasser, wenn dasselbe gegen Erschütterung geschützt ist, ohne zu erstarren, bis mehrere Grade unter Null abkühlen läßt, so ist dasselbe nach neueren Untersuchungen von Mousson (1858) ins Besondere auch dann der Fall, wenn das Wasser einem starken Druck unterworfen ist, welcher im Stande ist, die Ausdehnung des Wassers beim Frieren zu verhindern. Das Nehmliche gilt ferner von Wassermassen, welche einen sehr geringen Durchmesser haben, z. B. wenn das Wasser in feine Haarröhrchen eingeschlossen ist oder sich in Form sehr kleiner Tröpfchen auf einer Fläche, welche nicht von demselben benetzt wird, z. B. auf Sammet oder einer bestäubten Fläche befindet. Die Berührung mit einer feinen Nadelspitze bewirkt dann plötzlich das Erstarren des bis dahin durchsichtigen Tröpfchens. Eben so bleiben auch die dünnen Wasserhäutchen der den Nebel oder Dunst bildenden Wasserbläschen in hoher Kälte noch flüssig. Es erklärt sich aber hieraus, daß auch bei einer Lufttemperatur unter Null-Grad noch Regen fallen kann.

Die folgenden Kälte erregenden Mischungen erkalten	von	bis
5 Theile Salmiak, 5 Theile Salpeter und 16 Theile Wasser	+ 10°	— 12°
5 Theile verdünnte Salzsäure und 8 Theile Glaubersalz	+ 10	— 17,8
3 Theile Schnee und 1 Theil Kochsalz	0	— 17,8
3 Theile Schnee und 1 Theil Schwefelsäure (4 Vitriolöl, 1 Wasser)	0	— 32,5
8 Theile Schnee und 5 Theile verdünnte Salzsäure	0	— 33
3 Theile Schnee und 4 Theile salzsaurer Kalk	0	— 48

Der ersteren Mischung bedienen sich die Conditor, um im Sommer Eis zu bereiten. Bei der letzten Mischung, welche die größte Kälte erzeugt, verfährt man am zweckmäßigsten auf die Art, daß man 2 bis 3 Pfund salzsauren Kalk bis zur Trockne erwärmt, dann pulverisirt und durch ein feines Flortuch siebt, wobei derselbe aus der Luft so viel Wasser aufnimmt, als zu seiner schnellen Auflösung erforderlich ist. Man mischt dann das Pulver mit Schnee oder zerstoßenem Eise in einem hölzernen oder irdenen Gefäße, welches man in einen größeren Napf gestellt hat, welcher eine Mischung von Kochsalz und Schnee enthält. — Noch höhere Kältegrade, als die angegebenen können natürlich erlangt werden, wenn man die zu mischenden Substanzen vorher mehrere Grade unter Null abgekühlt hat.

Wasser, welches Salz aufgelöst enthält, friert erst bei niedrigeren Temperaturen, als reines Wasser. Eben so liegt bei Metalllegirungen der Schmelzpunkt niedriger, als der des strengflüssigeren Bestandtheiles; bei dem Rose'schen Metallgemische, welches aus 2 Theilen Wismuth, 1 Theil Blei und 1 Theil Zinn besteht, liegt der Schmelzpunkt beträchtlich niedriger, als der eines jeden Bestandtheiles, indem dasselbe schon im siedenden Wasser schmilzt. — Das so strengflüssige Platin läßt sich mit den meisten Metallen leicht zusammenschmelzen. Auf demselben Grunde beruht auch der so genannte Zuschlag oder Fluß, welchen man in Hochöfen anwendet, um die strengflüssigen Metalle zum Schmelzen zu bringen, und wozu unter anderen der hiervon benannte Flußspath gehört.

Endlich fügen wir noch eine Tafel der Schmelzpunkte einiger Substanzen bei:

Eisen	1600°	Blei	334°
	1500	Zinn	285
Stahl	1400	Wismuth	256
	1300	Legirung aus 4 Wismuth, 1 Blei, 1 Zinn	94
Graues Gußeisen	1200	Schwefel	110
Weißes Gußeisen	1050	Gelbes Wachs	61
Gold	1250	Eis	0
Kupfer	1050	Terpentinöl	—10
Silber	1000	Queckfilber	—39
Zink	360		

§. 237. Von der Bildung der Dämpfe im Allgemeinen.

Während der Uebergang der festen Körper in den flüssigen Zustand nur bei einer bestimmten Temperatur erfolgt, findet die Verwandlung der flüssigen Körper in luftförmige, des Wassers in Dampf, bei jeder Temperatur statt, wie unzählige bekannte Erfahrungen lehren. So beruht hierauf das Trocknen der Wäsche, das Austrocknen feuchter Wege, der Gräben und Teiche bei trockener Witterung u. s. w. Ueberhaupt vermindert sich das Wasser in jedem offenen Gefäß, welches keinen Zufluß erhält, beständig, bis nach längerer oder kürzerer Zeit dasselbe gänzlich verschwunden ist, sich in Dampf verwandelt hat.

Selbst feste Körper verdunsten, d. h. sie gehen in den luftförmigen Zustand über. Sehr deutlich zeigt dieses der Kampfer. Aber auch Eis und Schnee vermindern sich nach längerem Liegen in Folge der Verdunstung allmählig, auch wenn in der Zwischenzeit die Temperatur Null Grad nicht erreicht oder überschritten hat. Eben so trocknet die Wäsche auch im gefrornen Zustande allmählig aus.

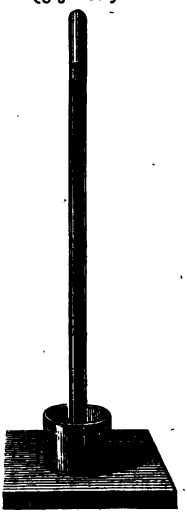
Die Verdunstung schreitet jedoch unter übrigens gleichen Umständen um so rascher fort, je höher die Temperatur des verdunstenden Körpers ist; sie erfolgt am raschesten beim Sieden einer Flüssigkeit. Der Grund hiervon

ist, daß beim Sieden, wie wir schon im vorhergehenden Paragraphen gesehen haben, alle der Flüssigkeit zugeführte Wärme zur Dampfbildung, bei niedrigeren Temperaturen aber nicht bloß hierzu, sondern auch zur Erhöhung der Temperatur der Flüssigkeit verwandt wird. Der zweite wesentliche Unterschied der Dampfbildung beim Sieden und bei niederen Temperaturen besteht darin, daß bei Temperaturen, welche unter dem Siedepunkte liegen, die Verwandlung der Flüssigkeit in Dampf nur an der Oberfläche erfolgt, beim Sieden aber sich auch im Inneren der Flüssigkeit Dampfblasen bilden, welche durch ihr Aufsteigen das die Erscheinung des Siedens charakterisirende Aufwallen der Flüssigkeit hervorbringen. Den Grund dieser Verschiedenheit werden wir weiter unten kennen lernen.

§. 238. Elasticität und Dichtigkeit der Dämpfe.

Um die Gesetze der Dampfbildung zu erforschen, ist es nothwendig, dieselbe im luftleeren Raume zu studiren. Der hierzu dienende Apparat, welcher zugleich eine genaue Abmessung der Elasticität des gebildeten Dampfes zuläßt, besteht im Wesentlichen in einem Gefäßbarometer, Fig. 283. Bringt man in den luftleeren Raum über dem Quecksilber in der Röhre einige Tropfen Wasser, was leicht geschehen kann, weil diese in dem specifisch schweren Quecksilber emporsteigen, so sieht man das emporgestiegene Wasser sich rasch vermindern, in Dampf übergehen und das Quecksilber in der Röhre (um einige Linien) fallen. Die Größe dieses Fallens aber oder, was dasselbe sagen will, der Unterschied im Stande dieses Dampfbarometers und eines gewöhnlichen Barometers, in dessen längerem Schenkel sich über dem Quecksilber ein luftleerer Raum befindet, gibt die Elasticität des gebildeten Wasserdampfes an.

(Fig. 283.)



Bringt man das Wasser in die Torricelli'sche Leere nur ganz allmählig und in kleinen Quantitäten, so sieht man jeden einzelnen Tropfen bei seiner Ankunft in der Torricelli'schen Leere sich rasch vermindern und verschwinden und das Quecksilber in Folge des Druckes der gebildeten Dämpfe fallen. Hat aber die Menge dieser Dämpfe bis zu einem gewissen Grade zugenommen, so findet keine weitere Dampfbildung und kein Fallen des Quecksilbers mehr statt, wenn man auch noch mehr Wasser in den Raum über dem Quecksilber treten läßt. Man nennt einen solchen Raum, welcher keine Dämpfe mehr aufzunehmen vermag, mit Dämpfen gesättigt.

Je höher die Temperatur eines Raumes ist, um so größer ist auch die Menge der Dämpfe, welche derselbe zu fassen vermag, und um so größer die Elasticität dieser Dämpfe. — Um hierüber genaue Maaßbestimmungen zu erhalten, senkt man den in Fig. 283 abgebildeten Apparat in einen mehrere Fuß hohen gläsernen Cylinder, welcher ganz mit Wasser angefüllt ist, welches sich bis zu beliebigen Temperaturen erwärmen läßt. Man findet dann, daß die Menge und Elasticität der Dämpfe, welche der leere Raum über dem Quecksilber zu fassen vermag, mit der Temperatur

rasch zunimmt, und daß bei der Temperatur des Siedepunktes die Elasticität dieser Dämpfe genau gleich dem Luftdrucke ist, daß also dieselben einer eben so großen Quecksilbersäule (28 Zoll), wie die Luft, das Gleichgewicht zu halten vermögen.

(Fig. 284.)

Um die Elasticität der Dämpfe für höhere Temperaturen zu bestimmen, läßt das bisher beschriebene Verfahren keine Anwendung zu. Für diesen Zweck kann der Fig. 284 abgebildete Apparat dienen. Derselbe besteht aus einer gläsernen Röhre, welche sich von einem Gefäßbarometer nur darin unterscheidet, daß der längere Schenkel b oben offen, und das Gefäß a in eine feine Spitze ausgezogen ist. Der Raum über dem Quecksilber im Gefäße a wird ganz mit Wasser angefüllt und hierauf die feine Spitze zugeschmolzen. Wird dann dieser Apparat mit dem kürzeren Schenkel in eine bis über 100^0 erwärmte Flüssigkeit, z. B. in Oel, getaucht, so bilden sich im kürzeren Schenkel Dämpfe, und die Höhe des Quecksilbers im offenen Schenkel b über dem Quecksilber im verschlossenen Schenkel a, vermehrt um die Größe des Luftdrucks, gibt die Elasticität der gebildeten Dämpfe an.

Die Dämpfe zeigen im Wesentlichen alle Eigenschaften der luftförmigen Körper überhaupt; sie lassen sich durch vermehrten Druck zusammenpressen, dehnen sich bei nachlassendem Drucke wieder aus und folgen hierbei, wenn man dieselben keinem zu starken Drucke unterwirft, dem Mariotte'schen Gesetze (§. 66). Eben so dehnen sie sich bei gleichbleibendem Drucke, aber vermehrter Wärme aus und ziehen sich bei verminderter Wärme zusammen. Die Dichtigkeit der Dämpfe läßt sich jedoch durch Verminderung der Temperatur oder durch Vergrößerung des Druckes nur bis zu einer gewissen Grenze steigern. Haben die Dämpfe dieses Maximum der Dichtigkeit und Elasticität erreicht, und werden dieselben bei umgeänderter Temperatur einem größeren Drucke unterworfen, so nimmt ihre Dichtigkeit und Elasticität nicht mehr zu, sondern sie verwandeln sich in tropfbare Flüssigkeit. Findet bei gleichbleibendem Drucke eine Verminderung der Temperatur statt, so wird ebenfalls ein Theil der Dämpfe condensirt.

Vergleicht man die Dichtigkeit der Dämpfe mit der Dichtigkeit der trockenen, nur aus Sauerstoff und Stickstoff gemischten atmosphärischen Luft, so findet man, daß die Dichtigkeit des Wasserdampfes sehr nahe gleich $^5/_8$ von der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur ist.

Die vorhergehenden Untersuchungen betrafen zunächst nur den Wasserdampf. Sie gelten indessen im Wesentlichen auch für die Dämpfe anderer Flüssigkeiten. Doch ist für verschiedene Flüssigkeiten auch die Elasticität und die Dichte ihrer Dämpfe verschieden. Bei einerlei Temperatur ist die Elasticität des Dampfes einer Flüssigkeit um so größer, je niedriger die Temperatur ist, bei welcher die Flüssigkeit siedet, also z. B. beim Spiritus oder Schwefeläther größer, beim Quecksilber bedeutend kleiner, als beim Wasser. Für alle Flüssigkeiten aber gilt das Gesetz, daß die Elasticität der Dämpfe beim Sieden dem atmosphärischen Luftdrucke gleich ist.

Die obige Angabe über die Dichtigkeit des Wasserdampfes ist von Gay-Lüssac dadurch erhalten worden, daß er eine genau abgewogene Menge Wasser in eine graduirte, mit Quecksilber gefüllte Röhre brachte, durch Erwärmung vollständig verdampfen ließ und den von den Dämpfen eingenommenen Raum, ihre Elasticität und Temperatur sorgfältig abmaß. Auf ähnliche Art, wie die Dichtigkeit des Wasserdampfes (0,623), ist auch die Dichtigkeit der Dämpfe anderer Flüssigkeiten (Alkohol 1,6, Schwefeläther 2,6) gefunden worden.

Da die Dichtigkeit einer Flüssigkeit mit der Temperatur sich vermindert, die Dichtigkeit ihrer Dämpfe aber rasch zunimmt, so muß es für jede Flüssigkeit eine Temperatur geben, bei welcher die Flüssigkeit sich in einen klaren Dampf von gleicher Dichte und also auch von gleichem Volumen verwandelt. Dieser merkwürdige Zustand tritt, wie Caignard de la Tour gezeigt hat, ein: beim Schwefeläther bei einer Temperatur von 200°, einer Ausdehnung der Flüssigkeit in den doppelten Raum und einer Elasticität des Dampfes von 37 bis 38 Atmosphären, beim Alkohol bei 259°, dreifachem Volumen und einer Elasticität von 119 Atmosphären; er dürfte beim Wasser ohngefähr bei der Rothglühhitze und einer Ausdehnung in einen viermal so großen Raum eintreten.

Die folgende Tabelle gibt die Elasticität des Wasserdampfes für Temperaturen unter 100° in Par. Linien einer Quecksilbersäule, welcher der Dampf das Gleichgewicht zu halten vermag, für höhere Temperaturen aber in Atmosphären an.

Temperatur.	Elasticität. Pariser Linien.	Temperatur.	Elasticität. Pariser Linien.	Temperatur.	Elasticität. Atmosphär.
—20°	0,59	45°	30,48	100°	1
15	0,83	50	39,34	121½	2
10	1,17	55	50,41	135	3
5	1,62	60	64,08	145½	4
0	2,24	65	80,99	153	5
+5	3,08	70	101,54	160	6
10	4,20	75	126,37	166½	7
15	5,69	80	156,07	172	8
20	7,67	85	191,37	177	9
25	10,23	90	232,85	181½	10
30	13,58	95	281,17	190	12
35	17,91	100	336,90	197	14
40	23,48			203½	16

§. 239. Condensation der Gase.

Wie wir schon im §. 12 gesehen haben, findet zwischen den Dämpfen und den so genannten permanenten Gasen kein absoluter, sondern nur ein relativer Unterschied statt, indem die Dämpfe schon bei gewöhnlichen Temperaturen und mäßigem Drucke in den flüssigen Zustand übergehen, bei den Gasen dieser Uebergang aber erst bei sehr niedrigen Temperaturen oder sehr starkem Drucke erfolgt. — Zur Verdichtung der Gase wendet man Compressionspumpen an, welche eine ähnliche Einrichtung, wie die gewöhnliche Luftpumpe, haben. Auf diese Art ist es gelungen, bei Weitem die meisten Gase in den flüssigen und mehrere selbst in den festen Zustand, indem man dieselben bis zu sehr hohen Graden künstlich erregter Kälte abkühlte, überzuführen. Nur einige wenige Gase, wie Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, haben sich bis jetzt weder flüssig, noch fest darstellen lassen. (Vergl. oben §. 66 Anm.)

Entscheidende Versuche über die Condensation der Gase sind zuerst von Davy und Faraday 1823 angestellt worden. Thilorier hat zuerst die Kohlensäure in größeren Mengen flüssig, so wie auch im festen Zustande dargestellt. Seine Untersuchungen wurden jedoch dadurch unterbrochen, daß das Gefäß, in welchem die Kohlensäure verdichtet wurde, zersprang, wobei Menschen das Leben verloren. Dieselben Versuche sind später von anderen Physikern mit den geeigneten Vorsichtsmaßregeln wiederholt worden. Die so äußerst flüchtige Kohlensäure (sie siedet schon bei — 78° und bei 0° haben ihre Dämpfe

Elasticität von 38 Atmosphären) erregt bei ihrer Verdunstung eine Kälte, welche die durch Mischungen künstlich zu erregende Kälte bei Weitem übertrifft. Durch Benutzung derselben ist es gelungen, die Kohlensäure selbst und mehrere andere Gase in den festen Zustand überzuführen, in welchem dieselben sämmtlich ein dem Eise oder Schnee ähnliches Ansehen zeigen. Das flüssige Stickstoffoxydul, welches nach Regnault schon bei — 88° siedet und also die Kohlensäure noch an Flüchtigkeit übertrifft, zeigt nach Dumas folgende Erscheinungen: die Flüssigkeit ist farblos und durchsichtig; jeder Tropfen derselben, welcher auf die Hand fällt, verbrennt dieselbe stark. Wirft man ein Stückchen Metall in die Flüssigkeit, so entsteht ein ähnliches Zischen, wie wenn man glühendes Eisen in Wasser taucht. Das nehmliche Zischen bringt auch Quecksilber hervor, welches sogleich zu einer harten, spröden, silberweißen Masse erstarrt. Wasser, in das flüssige Stickstoffoxydul geschüttet, gefriert augenblicklich, erzeugt aber ein so heftiges Verdampfen der Flüssigkeit, daß man, um eine Explosion zu vermeiden, nicht zu wenig Wasser auf einmal zuschütten darf.

Die folgende Tabelle enthält einige Resultate der von Faraday 1844 bis 1845 angestellten Versuche. Nach früheren Versuchen von Faraday wird das in dieser Tabelle fehlende Chlor bei $15\frac{1}{2}^0$ unter einem Drucke von 4 Atmosphären flüssig.

Name des Gases.	Wird flüssig bei einer Temperatur von	Und unter einem Drucke von	Wird fest oder schmilzt bei einer Temperatur von
Salzsäure	0°	26 Atm.	—
Schwefelige Säure	0	$1\frac{1}{2}$	—76°
Schwefelwasserstoff	—$17\frac{7}{9}$	6	—87
Kohlensäure	0	38	—57
Unterchlorige Säure	—	—	—59
Stickstoffoxydul	—$17\frac{7}{9}$	19	—100
Cyan	0	$2\frac{1}{2}$	—34
Ammoniak	0	$4\frac{1}{2}$	—75
Arsenwasserstoff	0	9	—
Schweres Kohlenwasserstoffgas	—$17\frac{7}{9}$	27	—
Jodwasserstoff	0	4	—51
Bromwasserstoff	—	—	—87
Fluorkiesel	—107	9	—
Fluorbor	—52	$11\frac{1}{2}$	—

§. 240. Vom Sieden.

Die Untersuchungen der vorhergehenden Paragraphen geben uns auch Aufschluß über die Erscheinung des Siedens. So lange die Temperatur einer Flüssigkeit die ihres Siedepunktes noch nicht erreicht hat, können im Inneren derselben sich keine Dämpfe bilden, weil die Elasticität derselben weniger, als 28 Zoll beträgt. Eine in der Flüssigkeit etwa entstehende Dampfblase müßte durch den auf derselben lastenden Druck der Atmosphäre sogleich wieder zu tropfbarer Flüssigkeit verdichtet werden. Anders verhält es sich jedoch an der Oberfläche der Flüssigkeit, wo die Dämpfe sich mit der atmosphärischen Luft vermischen und also nicht mehr allein, sondern mit permanenten Gasen vermischt, den auf ihnen lastenden Druck der Atmosphäre tragen.

Wenn eine Flüssigkeit bis zur Temperatur des Siedepunktes erwärmt ist, so vermögen die Dämpfe derselben allein den Druck der Atmosphäre auszuhalten und können sich daher auch im Inneren der Flüssigkeit bilden. Das Eigenthümliche des Siedens besteht also erstens darin, daß alle der Flüssigkeit zugeführte Wärme zur Dampfbildung verwandt wird, und zweitens darin, daß die Dämpfe sich nicht blos an der Oberfläche, sondern auch im Inneren der Flüssigkeit bilden.

Da eine Flüssigkeit bei derjenigen Temperatur siedet, bei welcher die Dämpfe derselben den auf der Flüssigkeit lastenden Luftdruck auszuhalten ver-

mögen, so muß dieselbe bei einer um so niedrigeren Temperatur sieden, je geringer die Größe dieses Druckes ist. (So folgt z. B. aus der Seite 399 aufgeführten Tabelle, daß das Wasser bei einem Luftdrucke von 23 Zoll, 19 Zoll, 16 Zoll u. s. w. schon bei 95^0, 90^0, 85^0 u. s. w. siedet.) Man ersieht hieraus, daß der Siedepunkt des Wassers und eben so der jeder anderen Flüssigkeit eigentlich kein fester Punkt ist, sondern mit dem Luftdrucke steigt und fällt, weßhalb auch zwei Thermometer nur dann in ihren Angaben unmittelbar übereinstimmen können, wenn ihre Siedepunkte bei gleichem Luftdrucke bestimmt worden sind. Weiter erklärt sich hieraus, warum das Wasser auf hohen Bergen bei niedrigeren Temperaturen siedet, als im Thale, und warum unter dem Recipienten der Luftpumpe bei starker Verdünnung schon lauwarmes Wasser siedet. In einem gänzlich luftleeren Raume würde das Wasser selbst bei Null Grad sieden.

Da die Temperatur einer siedenden Flüssigkeit nicht mehr zunimmt, auch wenn unter derselben das stärkste Feuer angebracht wird, so läßt sich auf hohen Bergen das Wasser in einem offenen Gefäße auch nicht bis zu der Temperatur erwärmen, bei welcher dasselbe im Thale siedet. So läßt sich z. B. in dem Hospiz auf dem St. Bernhard in einer Höhe von 7700 Fuß in offenen Gefäßen Rindfleisch nicht mehr weich kochen, weil in dieser Höhe der Luftdruck nur noch (ohngefähr) 20 Zoll beträgt und daher das Wasser schon bei 92^0 siedet.

Dagegen kann man in einem dicht verschlossenen Gefäße, Papin'schen Topfe, das Wasser bis zu jeder beliebigen Temperatur erwärmen, indem der Druck der Dämpfe, welche nicht entweichen können, das Sieden der Flüssigkeit verhindert. In demselben kann man Knochen, Hirschhorn, Fischgräten u. a. m. erweichen, welche im siedenden Wasser nicht weich werden. Ein solcher Topf muß jedoch, da mit der zunehmenden Wärme auch die Elasticität des Dampfes und die Gefahr des Zerspringens sich vergrößert, mit einem Sicherheitsventile versehen sein, welches sich von selbst öffnet, wenn die Elasticität der Dämpfe eine gewisse Grenze überschreitet.

Der Erscheinung des Siedens pflegt ein eigenthümliches Geräusch (Simmern) vorauszugehen, welches dadurch entsteht, daß die dem Boden nächsten Wasserschichten durch das unter demselben angebrachte Feuer sich zuerst bis zum Siedepunkte erhitzen und in Dämpfe verwandeln, und die emporsteigenden Dampfbläschen, indem sie in die oberen, noch nicht bis zu dieser Temperatur erwärmten Schichten gelangen, sich wieder verdichten.

Manche Flüssigkeiten, wie z. B. Milch, welche sich in der Hitze mit einer Haut bedecken, schwellen beim Sieden an, indem die Dampfblasen sich unter der Haut ansammeln und dieselbe emportreiben.

Daß das Wasser durch verminderten Druck schon bei sehr mäßigen Temperaturen, welche weit unter 100^0 liegen, zum Sieden gebracht werden kann, läßt sich auch durch folgenden eben so lehrreichen, als leicht anzustellenden Versuch zeigen. In einem gläsernen Kölbchen wird Wasser bis zum starken Sieden erhitzt, hierauf das Kölbchen vom Feuer abgehoben, rasch verkorkt und umgekehrt. Dann siedet das Wasser in dem Kölbchen noch lange Zeit fort, und das allmählig nachlassende Sieden wird wieder lebhafter, wenn man den oberen, mit Dämpfen gefüllten Theil des Kölbchens mit kaltem Wasser übergießt. — Auf gleichem Prinzipe beruht der so genannte Pulshammer, eine luftleere gläserne Röhre, in welcher Spiritus schon durch die Wärme der Hand zum Sieden gebracht wird.

Wenn man Wasser mit Weingeist vermischt, so liegt der Siedepunkt der Mischung zwischen dem des Wassers und dem des Weingeistes. Sind in einer Flüssigkeit feste Substanzen aufgelöst, so liegt ihr Siedepunkt höher, als der der reinen Flüssigkeit. So siedet Wasser, welches 10, 20, 30, 40 Procent Kochsalz aufgelöst enthält, erst beziehlich bei $101\frac{1}{2}^0$, $103\frac{1}{2}^0$, 106^0, $108\frac{1}{2}^0$. Die aus der siedenden Salzlösung aufsteigenden Dämpfe haben jedoch die nehmliche Temperatur und Elasticität, wie die des reinen Wassers.

Wenn Wasser in einem hohen Gefäße siedet, so haben die unteren Schichten eine etwas höhere Temperatur, als die oberen, weil die unteren Schichten nicht bloß den Luftdruck erleiden, sondern auch die auf ihnen lastende Wassersäule zu tragen haben.

Schwieriger zu erklären ist die Erscheinung, daß das Wasser nicht in allen Gefäßen bei einer ganz gleichen Temperatur siedet. Taucht man ein Thermometer in Wasser, welches in einem Gefäße von Glas oder Porzellan siedet, so steigt das Thermometer um einige Zehntel Grade höher, als wenn das Gefäß von Metall ist. Vielleicht ist die ungleiche Wärmestrahlung der Wände dieser Gefäße die Ursache dieser Verschiedenheit.

Eben so auffallend ist die Erscheinung, daß völlig luftleeres Wasser sich mehrere Grade über den Siedepunkt erhitzen läßt, ehe es in's Sieden kommt, welches dann stoßweise beginnt. Vielleicht ist die Cohäsion der Wassertheile die Ursache.

Aeußerst merkwürdig und noch nicht vollständig erklärt ist ferner die den Arbeitern in Kupferschmelzhütten sehr bekannte Erscheinung, auf welche vorzüglich Leidenfrost 1756 aufmerksam gemacht hat, daß Wasser, auf glühende Metallflächen gegossen, nicht siedet, sondern sich, wie Quecksilber auf Glas, in Tropfen sammelt, welche eine rotirende Bewegung haben. In einem stark glühenden Tiegel von Silber oder Platin nimmt auch eine größere Menge Wasser, welche man allmählig in denselben schüttet, die sphäroidische Gestalt an. So wie aber das Metall sich etwas abkühlt, kömmt das Wasser in heftiges Sieden und wird nach allen Seiten umhergeschleudert.

Nach den Untersuchungen von Boutigny geht eine kleine Flüssigkeitsmasse in den sphäroidischen Zustand über, wenn das Gefäß beim Eintröpfeln derselben eine Temperatur besitzt, welche eine gewisse Grenze übersteigt. Diese Grenztemperatur ist für Wasser 171°, Alkohol 134°, Aether 61°, sie ist im Allgemeinen um so niedriger, je niedriger der Siedepunkt der Flüssigkeit liegt. Die Temperatur der Flüssigkeit im sphäroidischen Zustande ist von der des Gefäßes unabhängig und immer etwas niedriger, als die ihres Siedepunktes; für Wasser ist sie 96,5°, für Alkohol 75,05°, für Aether 34,25°, für schwefelige Säure — 10,05°. Der entwickelte Dampf besitzt dagegen nahezu die Temperatur des Gefäßes, und die Verdampfung geschieht um so rascher, je höher diese Temperatur ist, aber immer beträchtlich langsamer, als beim Sieden. — Die Flüssigkeit berührt im sphäroidischen Zustande die Oberfläche des Körpers nicht, auf welchem sie sich befindet. — Der sphäroidische Zustand ist wahrscheinlich die vornehmste Ursache von Dampfkessel-Explosionen. Befindet sich nehmlich in dem Kessel zu wenig Wasser, so daß dasselbe in Folge zu starker Erhitzung der Wände des Kessels in den sphäroidischen Zustand übergeht, so wird dasselbe auf einmal und mit der größten Heftigkeit in Dampf verwandelt, wenn die Kesselwände durch irgend eine Ursache eine Abkühlung unter die oben angegebene Temperatur (171°) erfahren.

Im Zusammenhange mit den vorher angeführten Erscheinungen dürfte auch der von einzelnen Arbeitern in Schmelzhütten schon seit alten Zeiten gekannte, in neuerer Zeit aber erst von Boutigny näher untersuchte und bestätigte Versuch stehen, daß man, ohne sich zu verletzen, mit bloßen Füßen über frisch gegossenes Eisen gehen oder die Hände kurze Zeit in geschmolzenes Eisen, Kupfer oder anderes Metall eintauchen kann, wobei jedoch, wenn der Versuch keine Gefahr bringen soll, die Temperatur des geschmolzenen oder glühenden Metalles keine zu niedrige sein, besonders bei den zuletzt angeführten Versuchen nicht zu nahe an der Temperatur liegen darf, bei welcher das geschmolzene Metall wieder fest wird. — Diese auffallenden Versuche, welche zugleich die Berichte älterer Geschichtschreiber über die im Mittelalter angestellten Feuerproben bestätigen, finden ihre Erklärung wahrscheinlich darin, daß sich vermöge der starken Ausdünstung der Haut eine dieselbe schützende und die innige Berührung mit dem Metall hindernde Dampfatmosphäre bildet.

Nicht bloß Wasser, sondern auch andere leicht verdampfende Flüssigkeiten, wie Spiritus, Aether, flüssige Kohlensäure, schwefelige Säure u. dgl. m. nehmen in glühenden Metallgefäßen die sphäroidische Gestalt an. Besonders überraschend ist der folgende, zuerst von Boutigny angestellte Versuch. Wenn man in einen glühenden Tiegel von Platin oder Silber flüssige schwefelige Säure gießt und, nachdem diese die sphäroidische Gestalt angenommen hat, Wasser zusetzt, so gefriert das Wasser und läßt sich als Eis aus dem glühenden Tiegel ausschütten. Das Widersprechende dieses Versuches läßt sich vielleicht durch die Annahme heben, daß die Temperatur der sphäroidischen Masse schwefeliger Säure eben so, wie im gleichen Falle beim Wasser, unter dem Siedepunkte der Flüssigkeit, also unter — 10° liegt. — Faraday hat in einer Mischung aus Schwefeläther und fester Kohlensäure in einem glühenden Platintiegel selbst Quecksilber, welches er in einer Metallschale in die sphäroidisch gestaltete Masse tauchte, in Zeit von zwei bis drei Secunden zum Frieren gebracht.

Tafel der Siedepunkte einiger Flüssigkeiten.

Quecksilber	360°	Schwefelkohlenstoff	47°
Leinöl	316	Schwefeläther	+35
Schwefelsäure	310	Schwefelige Säure	—10
Terpentinöl	157	Cyan	—18
Wasser	100	Kohlensäure	—78
Alkohol	78		

§. 241. Latente Wärme der Dämpfe.

So wie beim Uebergange der Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand Wärme gebunden wird, so findet dies in noch viel stärkerem Maße beim Uebergange in den luftförmigen Zustand statt. So werden z. B. bei der Verwandlung von einem Pfund Wasser von 100° in Dampf 536° Wärme gebunden; d. h. dieselbe Wärmemenge, welche erforderlich ist, um ein Pfund Wasser von 100° in Dampf zu verwandeln, würde im Stande sein, ein Pfund Wasser von 0° bis 536° oder, was dasselbe sagen will, 10 Pfund Wasser von 0° auf 53,6° zu erwärmen. — Diese Wärmemenge wird gefunden, indem man eine abgewogene Menge Wasser in einem Kolben zum Sieden bringt und die entstandenen Dämpfe in ein Gefäß leitet, welches eine größere, ebenfalls abgewogene Menge kalten Wassers enthält, und die Erhöhung der Temperatur beobachtet, welche diese Wassermasse in Folge der Condensation der Dämpfe erleidet. Damit diese möglichst vollständig stattfindet, macht das Rohr in dem Gefäße mehrere schlangenförmige Windungen.

Auch bei dem Sieden anderer Flüssigkeiten und der Umwandlung derselben in Dämpfe wird Wärme gebunden. Die Menge dieser Wärme ist jedoch für verschiedene Flüssigkeiten sehr verschieden (z. B. für Alkohol 210°, Schwefeläther 90° u. dgl. m.).

Die große Menge der Wärme, welche bei der Umwandlung des flüssigen Wassers in luftförmiges gebunden wird, ist im Haushalte der Natur von sehr wichtigem Einflusse. Ohne die latente Wärme des Wasserdampfes würde die Verdunstung des Wassers an der Oberfläche der Erde unvergleichlich rascher erfolgen, und das in der Atmosphäre enthaltene luftförmige Wasser bei einer Temperaturerniedrigung plötzlich in den gewaltigsten und verheerendsten Regengüssen niederstürzen.

Die Verdunstung des Wassers an der Erdoberfläche erfolgt natürlich am stärksten in der heißen Zone. Ein großer Theil der von den tropischen Meeren emporsteigenden Dämpfe wird durch den beständig, wie wir oben (§. 234) gesehen, in den oberen Regionen wehenden Aequatorealwind nach höheren Breiten hingeführt und fällt hier, wenn er sich mit der kälteren Luft vermischt, als Regen nieder. Nun werden aber bei dem Uebergang des flüssigen Wassers in den dampfförmigen Zustand über 500° Wärme gebunden, und dieselbe Wärmemenge wird bei der Condensation der Dämpfe zu flüssigem Wasser wieder frei. Es müssen daher diese Verhältnisse wesentlich dazu beitragen, die Hitze der tropischen Gegenden zu mildern und die Temperatur der vom Aequator entfernteren Theile der Erdoberfläche zu erhöhen.

Auf der latenten Wärme des Wasserdampfes beruht auch die Abkühlung der Luft nach einem Regen, das Verfahren, Gefäße kühl zu erhalten, indem man sie mit nassen Tüchern umgibt, das Gefühl von Kälte, wenn man aus einem Bade steigt u. a. m. Eben so bewirkt die beständige Ausdünstung der Haut, besonders in großer Hitze, eine sehr wohlthätige Abkühlung. In-

dem mit der Temperatur der Luft, in welcher wir uns befinden, auch die Hautausdünstung und folglich die Menge der gebundenen Wärme zunimmt, wird selbst in der größten Sonnenhitze die Temperatur des Blutes nicht beträchtlich erhöht.

In Spanien wird das Wasser in porösen Thongefäßen, Alkarazzas, durch welche es beständig hindurchsickert, kühl gehalten. — Zu Benares in Ostindien gewinnt man in kühlen Nächten Eis dadurch, daß man ein Feld mehrere Zoll hoch mit Stroh bedeckt und auf dieses Viele tausend poröse Gefäße mit Wasser stellt, welches sich besonders gegen Morgen, wo sich gewöhnlich ein kühler Wind erhebt, mit einer oft einen Zoll dicken Eisdecke bekleidet.

Die Verdunstung erfolgt um so rascher und die durch dieselbe bewirkte Kälte ist folglich um so größer, je geringer der Luftdruck ist. Unter dem Recipienten der Luftpumpe können bei starker Verdünnung einige Tropfen Wasser in einem Uhrglase, welches man an der Innenseite über einer Oellampe stark mit Ruß überzogen hat, welcher ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, auch im Sommer oder im geheizten Zimmer zum Frieren gebracht werden. Noch leichter gelingt der Versuch, wenn unter dem Schälchen mit Wasser ein Gefäß mit concentrirter Schwefelsäure aufgestellt ist, welche die gebildeten Wasserdämpfe begierig absorbirt und so die Bildung neuer Dämpfe befördert.

Die große Verdunstungskälte des Wassers zeigt auch der Kryophorus (τὸ κρύος das Eis) von Wollaston. Dieser besteht aus einer gläsernen Röhre, welche in zwei Kugeln endet, die etwas Wasser enthalten, aber luftleer sind (Fig. 285). Bringt man die eine dieser Kugeln in eine Kälte erregende Mischung (vergleiche oben §. 236), z. B. in eine Mischung von Kochsalz und Schnee, so werden die in derselben enthaltenen Wasserdämpfe condensirt; in Folge hiervon tritt in der anderen, außerhalb der Mischung befindlichen Kugel eine starke Verdunstung des Wassers ein, welches durch die hiermit verbundene Abkühlung zum Frieren gebracht wird.

(Fig. 285.)

Die Verdunstungskälte ist im Allgemeinen um so größer, je niedriger der Siedepunkt der verdunstenden Flüssigkeit liegt. Sie ist daher beim Spiritus und besonders beim Schwefeläther beträchtlicher, als beim Wasser. Umgibt man die Kugel eines Thermometers mit feiner Leinewand, welche man mit Schwefeläther benetzt, und setzt das Thermometer einem starken Luftzuge aus, so fällt dasselbe, selbst im heißen Sommer, mehrere Grade unter den Eispunkt. Unter der Luftpumpe kann man selbst Queckfilber durch die Verdunstungskälte des Aethers zum Frieren bringen.

Die höchsten Kältegrade aber, welche man überhaupt künstlich hervorzubringen vermag, entstehen bei der raschen Verdunstung der zu tropfbarer Flüssigkeit verdichteten Gase, der schwefeligen Säure, der Kohlensäure, des Stickstoffoxyduls u. a. m. Man benutzt dieselbe, wie wir schon oben gesehen haben, um die Gase in den festen Zustand überzuführen. Der höchste Grad künstlicher Kälte, welchen Faraday durch die flüssige Kohlensäure zu erhalten vermochte, lag ohngefähr 110° unter dem Eispunkte. Der absolute Alkohol verlor bei — 77° an Dünnflüssigkeit und floß bei — 110° wie ein Oel.

Die Menge der Wärme, welche beim Uebergange des Wassers aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand gebunden wird, ist nicht für alle Temperaturen dieselbe; die latente Wärme des Dampfes (l) ist vielmehr um so größer, je niedriger seine Temperatur (t) ist. Nach den Untersuchungen von Regnault ist z. B. für

t =	0°	l = 606°
t =	50	l = 572
t =	100	l = 536
t =	150	l = 501
t =	200	l = 464

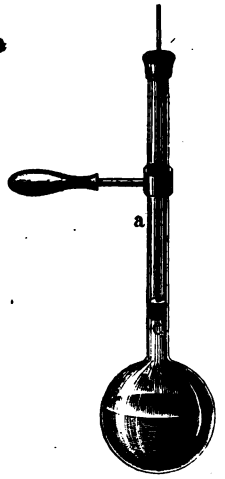
Diese Untersuchungen haben das von Watt aufgestellte Gesetz, daß die Summe aus der freien und latenten Wärme des Dampfes bei allen Temperaturen die nehmliche sei, nicht bestätigt.

§. 242. Die Dampfmaschine.

Die Dämpfe finden mannichfaltige und nützliche Anwendungen. Wir beschränken uns hier auf die wichtigste, die Dampfmaschine, bei welcher die Elasticität des Wasserdampfes als bewegende Kraft benutzt wird.

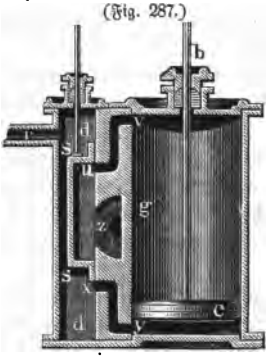
Um überhaupt zu zeigen, wie durch die Kraft der Dämpfe sich eine regelmäßig wechselnde Bewegung bewirken läßt, kann der folgende einfache Versuch dienen. In einem Gefäße b, Fig. 286, welches in einen cylinderförmigen Hals a ausläuft, in dem sich ein dicht anschließender Kolben c auf und nieder bewegen läßt, wird etwas Wasser über einer Spirituslampe erhitzt. So wie das Wasser in's Sieden kommt, treiben die sich entwickelnden Dämpfe den Kolben c gegen den Luftdruck in der cylinderförmigen Röhre empor. Taucht man dann das Gefäß b in kaltes Wasser, so condensiren sich die Dämpfe wieder, der äußere Luftdruck bekommt das Uebergewicht und treibt den Kolben nieder. — Was dieser Versuch, welcher schon 1687 von Papin in Kassel angestellt worden ist, im Kleinen zeigt, macht im Wesentlichen das Prinzip der Dampfmaschine im Großen aus.

(Fig. 286.)

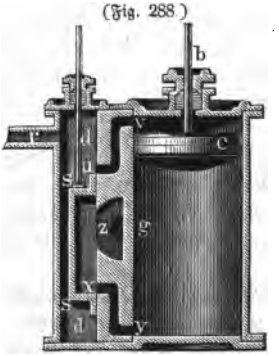


Die wichtigsten Theile einer Dampfmaschine sind der in unserer Figur 287 und 288 nicht abgebildete Kessel, in welchem die Dämpfe entwickelt werden, der Cylinder g, in welchem sich der Kolben c luftdicht auf und nieder bewegt, der (ebenfalls nicht abgebildete) Condensator, ein

(Fig. 287.)



(Fig. 288.)



geschlossener Behälter, in welchem die Dämpfe mit kaltem Wasser in Berührung kommen und sich wieder verdichten, und das Schieberventil ss, welches in dem Kasten dd auf und nieder geht und so abwechselnd den unteren oder oberen Raum des Cylinders mit dem Dampfkessel oder dem Condensator verbindet.

Bei der in Fig. 287 abgebildeten Stellung des Schiebers ss gelangen die Dämpfe aus dem Keſſel durch das Rohr r in den Kaſten dd und von hier durch den Kanal xy in den unteren Raum des Cylinders und treiben den Kolben c empor. Zugleich entweichen die Dämpfe aus dem oberen Raume des Cylinders durch den Canal uv in den Raum z, welcher durch eine Röhre mit dem Condenſator verbunden iſt, wo die Dämpfe ſich zu tropfbarem Waſſer verdichten. Hat dagegen der Schieber ss die in Fig. 288 abgebildete Stellung, ſo treten die Dämpfe aus dem Keſſel durch den Canal uv über den Kolben c und drücken denſelben nieder, während die unter dem Kolben befindlichen Dämpfe durch den Canal xy und das Rohr z nach dem Condenſator entweichen.

Durch die Kolbenſtange, welche bei b durch eine mit in Oel getränkten Scheiben ausgefütterte Büchſe luft- und dampfdicht hindurchgeht, wird zunächſt ein großer Hebelarm, der Balancirer, auf und nieder bewegt, welcher durch eine Vorrichtung, welche mit dem Knechte am Spinnrade die größte Aehnlichkeit hat, ein großes maſſives Rad umdreht, welches die Beſtimmung hat, den Gang der Maſchine gleichmäßig zu erhalten. Ohne dieſes Schwungrad würde die Bewegung eine ſehr ungleichmäßige ſein, da der Kolben, nachdem er durch die Dämpfe im Cylinder bis zum höchſten oder niedrigſten Stande empor- oder herabgetrieben worden iſt, für einen Augenblick zur Ruhe kommen und in die entgegengeſetzte Bewegung mit einer anfangs ſehr geringen, dann aber raſch zunehmenden Geſchwindigkeit übergehen würde.

Da das Waſſer im Condenſator durch die bei der Verdichtung der Dämpfe frei werdende Wärme ſich ſehr bald erwärmen würde, ſo muß daſſelbe beſtändig erneuert werden, was durch eine Pumpe geſchieht, welche durch die Maſchine ſelbſt in Bewegung geſetzt wird. Eben ſo wird auch der Schieber ss durch eine Stange, welche mit dem Balancirer verbunden iſt und durch eine am oberen Ende des Kaſtens dd angebrachte Stopfbüchſe luftdicht hindurchgeht, auf und nieder geführt u. dergl. m.

Man unterſcheidet Maſchinen mit niederem, mittlerem und hohem Drucke, je nachdem die Spannkraft der Dämpfe den Druck der Atmoſphäre nur wenig oder $1\frac{1}{2}$ bis 3mal oder 3 bis 6mal übertrifft. Bei den Maſchinen mit mittlerem und hohem Drucke kann der Condenſator ganz wegfallen, da hier die Dämpfe den Gegendruck der Atmoſphäre leicht zu überwinden vermögen. Dies iſt z. B. bei den Locomotiven der Fall. — Damit die Dämpfe im Keſſel, etwa bei zu ſtarker Heizung, eine nicht zu hohe Elaſticität erreichen und den Keſſel zerſprengen, iſt an demſelben ein mit einem verhältnißmäßigen Gewichte beſchwertes Ventil angebracht, welches ſich öffnet und den Dämpfen einen Abzug geſtattet, wenn die Elaſticität der Dämpfe eine Gefahr drohende Größe erreicht.

Der Effect einer Dampfmaſchine wächſt offenbar in gleichem Verhältniß mit der Elaſticität der Dämpfe und der Größe der Kolbenfläche*), wobei jedoch ein großer Theil der Kraft durch Reibung verloren geht und ein anderer Theil, welcher auf die Selbſtſteuerung der Maſchine verwendet wird, in Abzug zu bringen iſt. Man drückt die wirkliche Leiſtung einer Dampfmaſchine gewöhnlich nach Pferdekräften aus, wobei man unter der Kraft

*) Nach §. 60 iſt der Druck einer Atmoſphäre auf einen Quadratzoll ohngefähr gleich 15 Pfund.

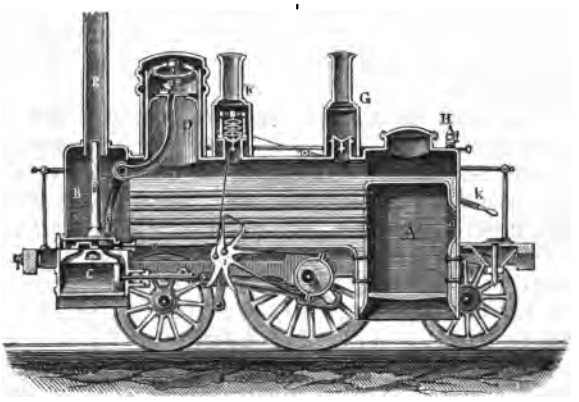
eines Pferdes eine Kraft versteht, welche in der Secunde 100 Pfund 5 Fuß hoch zu heben im Stande ist. Eine solche Kraft vermag jedoch ein Pferd nur acht Stunden lang während eines Tages unausgesetzt in Anwendung zu bringen.

Die erste Dampfmaschine, bei welcher ein Kolben durch die Kraft der Dämpfe gehoben wurde, ist 1705 von Newkomen in England construirt worden. Bei diesen Maschinen wurde jedoch der Kolben durch die Dämpfe nur empor-, durch den Druck der Atmosphäre aber niedergetrieben, weshalb dieselben auch atmosphärische genannt wurden. Die Dämpfe wurden unmittelbar im Cylinder selbst durch in denselben eingelassenes Wasser condensirt. Die atmosphärischen Dampfmaschinen verzehrten im Verhältniß zu ihren Leistungen sehr viel Brennmaterial und wurden daher vorzüglich nur in Kohlenbergwerken, um das Grubenwasser fortzuschaffen, angewendet. Im Jahre 1763 construirte Watt in England die erste Dampfmaschine mit einem besonderen Condensator und der Einrichtung, welche dieselbe noch gegenwärtig im Wesentlichen hat.

Von den später an der Dampfmaschine angebrachten Verbesserungen ist als eine der nützlichsten die Anwendung der Ausdehnung, Expansion, des Dampfes als bewegende Kraft anzuführen. Bei den Maschinen ohne Expansion, wie wir sie oben beschrieben haben, tritt der Dampf erst, nachdem der Kolben das eine oder andere Ende des Cylinders erreicht hat, mit seiner vollen Elasticität in die atmosphärische Luft oder den Condensator, und es bleibt daher diese Kraft für die Maschine gänzlich unbenutzt. Bei den Maschinen mit Expansion wird der Dampf schon abgesperrt, nachdem der Kolben nur einen Theil seines Weges im Cylinder durchlaufen hat; während des übrigen Theiles dieser Bewegung wirkt nur die Elasticität des sich ausdehnenden Dampfes auf den Kolben als bewegende Kraft, und erst jetzt, nachdem der Kolben den ganzen Weg vollendet, der Dampf sich in einen größeren Raum ausgedehnt und seine Elasticität sich demgemäß verringert hat, tritt derselbe aus. Die Dampfmaschine mit Expansion wirkt zwar hiernach mit geringerer Kraft, als ohnedieß der Fall gewesen sein würde; allein sie spart in einem noch stärkeren Verhältnisse an Dampf und folglich auch an Brennstoff. — — Zuweilen sind bei den Expansionsmaschinen zwei Cylinder in der Art verbunden, daß in dem ersten der Dampf mit der vollen Kraft, wie in der Maschine ohne Expansion, auf den Kolben wirkt, aus dem Cylinder dieser Maschine aber zunächst in einen zweiten größeren Cylinder gelangt und aus diesem erst, nachdem er auf den Kolben desselben durch Expansion bewegend eingewirkt hat, in die freie Luft oder in den Condensator austritt.

Fig. 289 stellt einen Längs-, Fig. 290 einen Querdurchschnitt einer Lokomotive dar. Die Einrichtung derselben ist im Wesentlichen folgende: Der Feuerraum A befindet sich

(Fig. 289.)



(Fig. 290.)

innerhalb eines großen mit Wasser angefüllten Kastens, des Dampfkessels, und ist ganz mit Wasser umgeben, mit Ausnahme der Stelle a, wo sich eine Thüre zur Einbringung des Brennmaterials befindet. Die hellere Schattirung in Fig. 289 zeigt den Stand des

Wassers in dem Dampfkessel an. Aus dem Feuerraume A leiten eine Menge Zugröhren, deren Lage die Fig. 290 noch deutlicher zeigt, die Flammen und den Rauch nach dem Raume B und von da in den Schornstein E. Da auf diese Art das Wasser mit einer sehr ausgedehnten erhitzten Metallfläche in Berührung kommt, so wird rasch eine große Menge desselben in Dampf verwandelt, welcher sich in den oberhalb des Kastens angebrachten cylinderförmigen Raum D ausbreitet. In diesen mündet oben bei g eine Röhre, welche sich weiter unten in zwei Arme dd theilt, welche Fig. 290 beide darstellt, während in Fig. 289 nur einer derselben abgebildet ist. Durch diese Röhren werden die Dämpfe nach den beiden an der Seite der Locomotive liegenden Cylindern CC und zwar zunächst in den über den Cylinder angebrachten Behälter m fortgeleitet. In diesem befindet sich ein bewegliches Schieberventil, welches bei der in der Fig. 289 abgebildeten Stellung die Dämpfe an die rechte Seite des Kolbens treten läßt, während die an der linken Seite befindlichen Dämpfe in den Raum n entweichen und aus diesem durch die Röhren o und p in den Schornstein E fortgeführt werden.

Bei F und G sind Sicherheitsventile angebracht, und H ist die Dampfpfeife, durch welche Signale gegeben werden. Eine an der unteren Seite der Locomotive angebrachte Hebelvorrichtung i, welche der Locomotivführer vermittelst des Hebelarmes k niederdrücken oder in die Höhe ziehen kann, gestattet die durch die Maschine selbst bewirkte Steuerung des Schieberventils nach Willkühr in der Art abzuändern, daß die Drehung der Räder sowohl in der einen, als in der entgegengesetzten Richtung bewirkt und die Locomotive sowohl vorwärts, als rückwärts bewegt werden kann.

Im Jahre 1807 kamen zuerst die Dampfschiffe in Amerika und 1815 die Lokomotiven auf Eisenbahnen in England und zwar zunächst für Kohlentransport, dann 1830 auch für die Beförderung von Personen in Gebrauch*).

§. 248. Dämpfe mit Gasen vermischt.

Im Vorhergehenden haben wir die Dämpfe hauptsächlich nur in dem Falle betrachtet, daß dieselben einen Raum allein erfüllen. Wir haben nun noch das Verhalten derselben kennen zu lernen, wenn in einem Raume Dämpfe zugleich mit permanenten Gasen vorhanden sind, wie dieß z. B. bei der atmosphärischen Luft beständig der Fall ist, welche außer permanenten Gasen jederzeit auch Wasserdampf enthält.

Ueber diesen Fall führen wir zunächst das von dem Engländer Dalton aufgestellte und nach ihm benannte Gesetz an: Wenn in einem Raume zugleich mehrere luftförmige Körper, Gase (welche nicht chemisch auf einander wirken), oder Dämpfe (solcher Flüssigkeiten, welche sich nicht mit einander vermischen), vorhanden sind, so ist die Spannkraft (Elasticität) des Gemenges gleich der Summe der Spannkräfte der einzelnen Gemengetheile.

Wenn man daher in einem abgesperrten, mit atmosphärischer Luft oder anderen Gasen erfüllten Raume Wasser oder eine andere Flüssigkeit verdunsten läßt, so erhält man nach dem Dalton'schen Gesetze die Elasticität des gebildeten Dampfes, wenn man von der Elasticität, welche das Gas und Dampfgemenge zeigt, die Elasticität der trockenen Gase subtrahirt. Man findet dann, daß für den mit Gasen erfüllten Raum die Elasticität und folglich auch die Menge der Dämpfe, welche derselbe bei einer bestimmten Temperatur zu fassen vermag, eben so groß ist, als für einen gänzlich leeren Raum von gleicher Temperatur und Größe. Der Unterschied ist nur der, daß in einem leeren Raume die Dampfbildung fast augenblicklich, in einem mit Gasen bereits erfüllten Raume allmählig erfolgt.

*) Ausführlichere Belehrung über die Einrichtung der Dampfmaschine und die Geschichte der Erfindung gewährt das Werk: „Die gesammten Naturwissenschaften" 2. Aufl. (Essen, G. D. Bädeker) B. 1, S. 247 u. f.

Wie wir schon im Vorhergehenden gesehen haben, vermag ein Raum um so mehr Dämpfe zu fassen, je höher seine Temperatur ist. Ist ein Raum mit Dämpfen *gesättigt*, d. h. sind in demselben wirklich so viele Dämpfe vorhanden, als derselbe vermöge der stattfindenden Temperatur zu fassen vermag, so muß jede Erniedrigung der Temperatur mit einer Condensation eines Theiles der vorhandenen Dämpfe verbunden sein. Dasselbe muß auch bei einem nicht mit Dämpfen gesättigten Raume eintreten, wenn die Temperatur desselben unter denjenigen Punkt herabgeht, bei welchem die in dem Raume vorhandenen Dämpfe denselben sättigen würden. Dieser Punkt, unter welchen die Temperatur eines Raumes nicht erniedrigt werden darf, ohne daß ein Niederschlag eines Theiles der vorhandenen Dämpfe erfolgt, wird der *Thaupunkt* genannt.

Wenn man in einen Raum, in welchem sich Dämpfe befinden, einen Körper bringt, dessen Temperatur unter dem Thaupunkte liegt, so schlagen sich die mit dem kälteren Körper in Berührung kommenden und hierdurch abgekühlten Dämpfe an demselben nieder. Auf diese Art kann man sich leicht überzeugen, daß in der atmosphärischen Luft jederzeit Dämpfe vorhanden sind. Eben so beruht hierauf das Bethauen der durch die äußere Luft abgekühlten Fensterscheiben eines erwärmten Zimmers zur Herbst- oder Winterszeit, ferner das so genannte Schwitzen der Steine, wenn nach vorhergegangener kälterer Witterung wärmere Witterung eintritt, und die Steine noch nicht die Temperatur der wärmeren feuchten Luft angenommen haben, u. dgl. m.

Die Menge der in der Luft vorhandenen Wasserdämpfe bestimmt den Feuchtigkeitsgehalt derselben. Wir unterscheiden *absolute* und *relative Feuchtigkeit* und verstehen unter *absoluter Feuchtigkeit* die Menge der in einem Raume vorhandenen Dämpfe, unter *relativer Feuchtigkeit* aber das Verhältniß der wirklich in einem Raume vorhandenen Dampfmenge zu derjenigen, welche derselbe bei der stattfindenden Temperatur überhaupt zu fassen vermag. In der Sprache des gewöhnlichen Lebens wird unter Feuchtigkeit fast ausschließlich die relative verstanden. Haben ein kalter Wintertag und ein warmer Sommertag gleichen absoluten Feuchtigkeitsgehalt, so kann an ersterem die Luft ganz mit Dämpfen gesättigt sein, und wir erklären dieselbe daher für sehr feucht, während wir die Luft an dem Sommertage als (relativ) trocken bezeichnen, weil dieselbe wegen der höheren Temperatur noch Wasserdampf in großer Menge zu fassen vermag. — Je größer die relative Feuchtigkeit der Luft ist, um so weniger tief liegt der Thaupunkt unter der Temperatur der Luft. Ist die Luft mit Dämpfen gesättigt, so fallen beide Temperaturen zusammen.

Die in der Luft vorhandenen Wasserdämpfe verdanken ihren Ursprung offenbar der *Verdunstung* des an der Erdoberfläche vorhandenen Wassers. *Die Menge der Dämpfe, welche eine Wassermasse in einer bestimmten Zeit liefert, ist unter übrigens gleichen Umständen um so größer, je größer die Oberfläche, je höher die Temperatur der verdunstenden Wassermasse und je trockener die über derselben befindliche Luft ist. Die Verdunstung wird ferner durch den Wind befördert*, indem derselbe einen beständigen Wechsel der Luftschichten herbeiführt, in Folge dessen die über der verdunstenden Wasserfläche lagernden, mit Dämpfen mehr geschwängerten Schichten durch trockenere ersetzt werden.

Um die Größe der täglichen oder jährlichen Verdunstung zu finden, stellt man im Freien Gefäße mit Wasser, welche man durch ein in einiger Höhe angebrachtes Dach gegen den Regen schützt, (Atmometer), auf und beobachtet, um wie viel sich das Wasser in Folge der Verdunstung vermindert. Diese Instrumente können jedoch aus bald einleuchtenden Gründen nur ein sehr ungenaues Maaß der Größe der an der Erdoberfläche wirklich stattfindenden Verdunstung geben.

Manche Substanzen besitzen die Eigenschaft, aus der feuchten Luft Dämpfe einzusaugen und zu condensiren, und zwar in um so größerer Menge, je feuchter die Luft ist, in trockener Luft aber einen Theil der eingesogenen und condensirten Dämpfe wieder abzugeben. Man nennt dergleichen Substanzen hygroscopische. Es gehören dahin Holz, Papier, Fischbein, Darmsaiten, viele Salze, besonders Chlorcalcium u. a. m.

Regnault hat in neuerer Zeit das oben angegebene Gesetz, daß in einem mit atmosphärischer Luft oder anderen Gasen erfüllten Raume sich eben so viel Dämpfe, als in einem leeren Raume von gleicher Temperatur und Größe bilden, in Zweifel gezogen. Nach den Versuchen desselben kann dieses Gesetz für Wasserdämpfe (zwischen 0 und 27°) annähernd als richtig gelten; die Dämpfe flüchtigerer Flüssigkeiten, wie Aether, Schwefelkohlenstoff u. dgl. zeigten jedoch erheblichere Abweichungen.

§. 244. Hygrometrie.

Von großer Wichtigkeit ist die Frage nach dem jedesmaligen Feuchtigkeitsgehalte der Luft. Die Beantwortung derselben ist nicht bloß für den Physiker, sondern von einem ganz allgemeinen Interesse, da hiervon auch die größere oder geringere Wahrscheinlichkeit atmosphärischer Niederschläge, Regen oder Schnee, abhängt.

Ist die Luft ganz mit Dämpfen gesättigt, so gibt die am Ende dieses Paragraphen beigefügte Tabelle die Elasticität des vorhandenen Wasserdampfes an, woraus sich dann auch leicht mit Berücksichtigung der stattfindenden Temperatur die Dichtigkeit desselben ergibt. Ist die Luft nicht mit Dämpfen gesättigt, so wird man zu dem nehmlichen Ergebnisse gelangen können, wenn man die Temperatur des Thaupunktes kennt. Der Thaupunkt aber wird gefunden, wenn man einen Körper ganz allmählig erkältet, bis sich auf demselben ein Niederschlag der in der Luft vorhandenen Dämpfe zeigt, und die Temperatur beobachtet, bei welcher dieser Niederschlag zuerst entsteht.

(Fig. 291.)

Da jedoch die genaue Bestimmung des Thaupunktes schwierig und zeitraubend ist, indem jede Beobachtung einen besonderen Versuch erfordert, so hat August in Berlin ein Instrument angegeben, mit Hilfe dessen sich auch ohne directe Bestimmung des Thaupunktes der Feuchtigkeitsgehalt der Luft bequemer ermitteln läßt. Dieses Instrument, welches den Namen Psychrometer führt, besteht aus zwei sehr genauen, nebeneinander aufgehängten Thermometern, von welchen die Kugel des einen mit Mousselin umwickelt ist, welcher in ein unmittelbar darunter stehendes Gefäß mit Wasser reicht und hierdurch beständig feucht erhalten wird. Von diesen beiden Thermometern zeigt das trockene die Temperatur der Luft an; das andere aber, dessen Kugel mit feuchtem Mousselin umwickelt ist, muß in Folge der durch die Verdunstung des Wassers herbeigeführten Wärmebindung etwas niedriger stehen. Je trockener die Luft ist, um so rascher muß die Verdunstung geschehen und um so größer auch

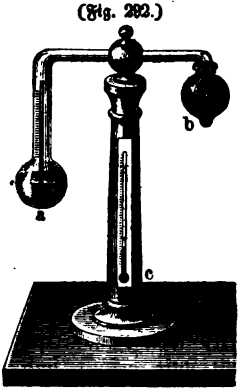
die hierdurch bewirkte Abkühlung sein. Umgekehrt wird man daher auch aus dem verschiedenen Stande des trockenen und des angefeuchteten Thermometers auf den Feuchtigkeitsgehalt der Luft schließen und denselben mit Hilfe besonders zu diesem Zwecke berechneter Tabellen bestimmen können. Wenn die Luft ganz mit Dämpfen gesättigt ist, also keine Verdunstung stattfinden kann, so stehen beide Thermometer gleich hoch und zeigen dann unmittelbar die Temperatur des Thaupunktes an. — Da die Schnelligkeit der Verdunstung nicht bloß von der relativen Trockenheit der Luft, sondern auch von der Stärke des Windes abhängt, so muß man das Psychrometer an einem gegen starken Luftzug geschützten Orte beobachten.

Durch hygrometrische Beobachtungen hat man gefunden, daß der absolute Feuchtigkeitsgehalt am Tage größer, als in der Nacht, und im Sommer größer, als im Winter ist, was sich leicht aus der Wirkung der Sonnenstrahlen erklärt. Dagegen ist die Luft einige Stunden nach Mittag (zur Zeit der größten Tageswärme) und im Mai relativ am trockensten und des Morgens vor Sonnenaufgang und gegen Ende December relativ am feuchtesten.

Für Berlin beträgt nach Dove die mittlere jährliche Elasticität der in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdämpfe 3,25 Par. Linien. Sie ist in den beiden kältesten Monaten Januar und Februar am kleinsten und beträgt nicht ganz 2 Linien; in den beiden wärmsten Monaten Juli und August aber ist sie am größten und erreicht beinahe 5 Linien.

Zur directen Bestimmung des Thaupunktes eignet sich besonders das von Daniell angegebene und in Fig. 292 abgebildete Hygrometer. Dasselbe besteht aus einer gebogenen Röhre, welche sich unten jederseits in eine Kugel endigt. Die Kugeln und die Röhre sind luftleer und enthalten etwas Schwefeläther. Die eine Kugel b ist mit Mousselin oder feiner Leinwand umwickelt, die andere Kugel a aber ist mit einer vergoldeten Zone versehen und enthält inwendig die Kugel eines feinen Thermometers. Außerdem ist noch äußerlich an dem Stativ bei c ein Thermometer zur Beobachtung der Lufttemperatur angebracht. Beim Gebrauche läßt man allen Schwefeläther aus der Kugel b in die Kugel a übertreten und tröpfelt dann auf den Mousselin der Kugel b etwas Schwefeläther. Die mit der Verdunstung desselben verbundene Abkühlung bewirkt eine Condensation der in dieser Kugel enthaltenen Schefelätherdämpfe, was eine Verdunstung und allmählige Abkühlung des Schwefeläthers in der Kugel a herbeiführt. So wie in Folge hiervon die Temperatur derselben bis unter den Thaupunkt herabgegangen ist, zeigt sich auf der vergoldeten Zone ein Niederschlag. Das in dieser Kugel eingeschlossene Thermometer zeigt hiernach in dem Augenblicke, in welchem der Niederschlag erscheint, eine etwas niedrigere Temperatur, als die des Thaupunktes, an. Man beobachtet daher, bei welcher Temperatur dieser Niederschlag wieder verschwindet, und nimmt das Mittel zwischen der Temperatur, bei welcher sich der Niederschlag zuerst zeigte, und der Temperatur, bei welcher derselbe wieder verschwand, als den wahren Thaupunkt an.

(Fig. 292.)



Ein Psychrometer kann auch durch ein einfaches Thermometer ersetzt werden, dessen Kugel man mit Mousselin umwickelt hat. Um die Lufttemperatur mit möglichster Genauigkeit und Sicherheit zu bestimmen, befestigt man dies Thermometer an einen Bindfaden und schwenkt es einigemal im Kreise um, ein Verfahren, durch welches störende Einflüsse, wie z. B. Wärmestrahlung u. dgl., beseitigt werden. Man befeuchtet dann den Mousselin, schwenkt das Thermometer wieder einigemal im Kreise um und liest dann die Temperatur des beleuchteten Thermometers ab.

Von den beiden folgenden Tabellen gibt die erste die der Temperatur t entsprechende Elasticität e des Wasserdampfes im Maximum der Dichtigkeit und die zweite unter der Ueberschrift e′ an, um wie viel diese Größe nach Maßgabe der Differenz d des trockenen

und des feuchten Thermometers zu verändern ist. Die Werthe von e und e' sind in Pariser Linien ausgedrückt.

Tafel I.

t	e	t	e	t	e	t	e
−10°	1,10	0°	2,24	10	4,35	20	8,07
9	1,18	+1	2,40	11	4,64	21	8,57
8	1,27	2	2,57	12	4,94	22	9,09
7	1,37	3	2,75	13	5,26	23	9,64
6	1,47	4	2,94	14	5,60	24	10,22
5	1,58	5	3,14	15	5,96	25	10,82
4	1,69	6	3,36	16	6,34	26	11,46
3	1,82	7	3,59	17	6,74	27	12,13
2	1,95	8	3,83	18	7,16	28	12,84
1	2,09	9	4,08	19	7,61	29	13,58

Tafel II.

d	e'
1	0,26
2	0,53
3	0,79
4	1,06
5	1,32
6	1,58
7	1,84
8	2,10
9	2,36
10	2,61

Den Gebrauch dieser Tafel mögen folgende Beispiele erläutern:

1) Es sei die Temperatur der Luft = 18° und das Daniell'sche Hygrometer gebe die Temperatur des Thaupunktes = 11°, so ist nach der ersten Tafel die Elasticität des Wasserdampfes X = 4,64.

2) Es sei ferner am Psychrometer beobachtet das trockene Thermometer t' = 22°, das feuchte t = 15°, also d = 7°, dann ist aus der ersten Tafel . . . . . e = 5,96
aus der zweiten Tafel . . . . . e' = 1,84
also die Elasticität des Wasserdampfes . . . . . X = 4,12

3) Ist t' = 22,3°, t = 14,8°, also d = 7,5°, so ist nach einer leichten Interpolation aus Tafel I. . . . . e = 5,89
und aus der Tafel II. . . . . e' = 1,97
also die Elasticität des Wasserdampfes . . . . . X = 3,92

Ist aber die Elasticität des Wasserdampfes bekannt, so läßt sich hieraus auch die Dichtigkeit desselben leicht herleiten, da dieselbe $^5/_8$ von der Dichtigkeit einer Luftmasse von gleicher Elasticität und Temperatur ist.

Früher wendete man zur Beurtheilung des relativen Feuchtigkeitsgehaltes der Luft auch hygroscopische Substanzen an. Die aus diesen construirten Instrumente geben jedoch weder genaue, noch übereinstimmende Resultate. Die meiste Verbreitung hat das Haarhygrometer von Saussure gefunden, bei welchem die Ausdehnung oder Verkürzung, welche ein Haar in feuchterer oder trockener Luft erfährt, zum Maße der relativen Feuchtigkeit dient.

§. 245. Nebel, Wolken.

Befindet sich in einem Gefäße Wasser, welches eine bedeutend höhere Temperatur hat, als die umgebende Luft, so erblickt man über demselben einen aufsteigenden Schwaden oder Dunst, durch welchen die Durchsichtigkeit der Luft getrübt wird. Indem nehmlich die von der heißen Flüssigkeit emporsteigenden Dämpfe in kältere Luftschichten gelangen, verdichten sie sich zu tropfbarflüssigem Wasser und zwar nach dem übereinstimmenden Zeugnisse sorgfältiger Beobachter zunächst in der Gestalt sehr kleiner Dunstbläschen, welche äußerlich von einem dünnen Wasserhäutchen umgeben, innerlich mit Luft gefüllt sind und die größte Aehnlichkeit mit den Seifenblasen haben, von denen sie sich nur durch ihre außerordentliche Kleinheit*) unterscheiden. Sie werden in der Luft schwebend erhalten, theils durch ihre außerordentliche Kleinheit, wie ja Aehnliches auch von den so genannten Sonnenstäubchen gilt; theils werden sie durch die von der wärmeren Flüssigkeit aufsteigenden Luftströme emporgetrieben.

*) Man schätzt ihren Durchmesser auf 0,0001 bis 0,001 Zoll.

Eine ganz gleiche Entstehung haben die Nebel, welche man besonders im Herbste des Abends über Flüssen, Teichen oder feuchten Wiesen, wenn das Wasser oder der Erdboden eine höhere Temperatur, als die Luft hat, ferner im Winter, besonders bei großer Kälte, über offenen, quellenreichen Gewässern erblickt. Diese Nebelmassen scheinen bei windstillem Wetter unbeweglich an derselben Stelle zu bleiben; bei aufmerksamerer Beobachtung bemerkt man jedoch eine lebhafte Bewegung und ein beständiges Aufsteigen der Dunstbläschen in denselben. — Nebel entstehen übrigens nicht bloß in den angeführten Fällen, sondern überhaupt, wenn sich feuchte warme Luftmassen mit kälteren vermischen.

Von den Nebeln sind die Wolken nur durch die größere Höhe, in welcher sie schweben, verschieden, wie man, zumal in gebirgigen Gegenden, sich leicht überzeugen kann. Ein Beobachter im Thale erblickt den Gipfel eines Berges von Wolken eingehüllt, während ein Beobachter auf dem Berge selbst sich von einer Nebelmasse umgeben sieht. Aus dem Gesagten geht schon hervor, daß die Wolken sich bis zu jeder Tiefe herabsenken können. Die größte Höhe, bis zu welcher sich dieselben erheben, kennt man nicht. Zu den am niedrigsten hinziehenden Wolken gehören im Allgemeinen die Regenwolken, zu den höchsten die so genannten Schäfchen. Auch auf den Gipfeln der höchsten Berge, so wie in den größten Höhen, welche Luftschiffer erreichten, haben Beobachter noch Schäfchen von demselben Ansehen, wie man dieselben von der Ebene aus sieht, über sich erblickt. — Bei der von Biot und Gay-Lüssac am 24. August 1804 unternommenen Luftfahrt durchschnitten sie in der Höhe von 3700 Fuß eine Wolkenschicht, welche, von oben her gesehen, das Ansehen einer wellenförmigen beschneiten Fläche darbot.

Die Wolken entstehen, so wie die Nebel, durch die Vermischung feuchter und wärmerer Luftschichten mit kälteren. (Wenn wir im Winter im Freien athmen, so schlagen sich die ausgeathmeten Dämpfe in Form einer Wolke nieder.) Eben so, wie in den Nebeln, finden auch in den Wolken beständige Bewegungen statt; nicht leicht behält eine Wolke längere Zeit die nehmliche Gestalt bei. In den Gebirgen sieht man häufig die Wolkenbildung an den Gipfeln der höchsten Berge ihren Anfang nehmen. Nicht selten sind bei übrigens heiterem Himmel die höheren Gebirge in Wolken eingehüllt. Der Grund dieser Erscheinung dürfte darin bestehen, daß die in wagerechter Richtung bewegten Luftmassen durch die Gebirge emporzusteigen genöthigt werden, und indem sie so in höhere und kältere Regionen gelangen, sich die Dämpfe derselben condensiren, weßhalb auch in den Gebirgen die jährliche Regenmenge größer, als in den benachbarten Ebenen ist.

Daß die Wolken gewöhnlich in größeren Höhen schweben, seltener als Nebel auf der Erdoberfläche lagern, hat seinen Grund hauptsächlich in der mit der Höhe abnehmenden Lufttemperatur. Die durch Verdunstung vom Meerwasser aufsteigenden Dämpfe müssen sich nehmlich verdichten, so wie sie bei ihrem Emporsteigen in eine Luftschicht von hinreichend niedriger Temperatur gelangen. Die Höhe, in welcher diese Verdichtung erfolgt, wird um so geringer sein, je höher in Vergleich zur Temperatur der Luft die Temperatur des Meerwassers ist. Die Nebel gehören daher vorzugsweise dem Winter und den kälteren Climaten an; dagegen müssen im Allgemeinen die Wolken im Sommer in größerer Höhe, als im Winter, in heißen Climaten höher, als in kälteren schweben. — Ueberdieß haben wir uns eine Wolke keineswegs

als einen beständig aus der nehmlichen Masse bestehenden Körper zu denken. Nicht selten sieht man vom Thale aus auf dem Gipfel eines Berges eine Wolke ruhen, deren Lage und Gestalt längere Zeit scheinbar dieselbe bleibt, während ein Beobachter in der Nebelmasse selbst die lebhaftesten Bewegungen wahrnimmt. Eben so kann es geschehen, daß eine frei schwebende Wolke sich allmählig senkt, und indem sie in wärmere Luftschichten gelangt, die Dunstbläschen derselben sich wieder auflösen, während die Dämpfe aufsteigender wärmerer und feuchterer Luftströme, so wie sie in die kälteren Regionen kommen, sich zu Dunstbläschen verdichten und die Wolke erneuern, welche, von der Ebene aus gesehen, beständig an derselben Stelle zu schweben scheint.

Da die Dichtigkeit des Wasserdampfes in stärkerem Verhältnisse, als die Temperatur, wächst, so muß bei der Vermischung einer wärmeren und einer kälteren Luftmasse ein Niederschlag selbst dann erfolgen, wenn beide nicht vollständig mit Dämpfen gesättigt sind. Es erklärt sich hieraus auch der Dunst beim Athmen in kalter Luft, ferner die Erscheinung in nördlichen Ländern, daß beim Eindringen der kalten Luft in geheizte Zimmer sich ein feiner Schnee bildet.

Der Engländer Howard hat die Wolken zweckmäßig in die folgenden Klassen eingetheilt:

1) Die Federwolke (cirrus), welche sich gewöhnlich zuerst am heiteren Himmel zeigt und das Ansehen feiner Streifen oder Flocken hat.

2) Die Haufenwolke (cumulus). Man sieht dieselben, besonders im Sommer, wie große, schwere Massen am Himmel schweben. Von der Sonne beschienen erscheinen sie weiß, und in der Nähe des Horizontes nehmen sie das Ansehen ferner Gebirge an.

3) Die Schichtwolke (stratus), welche, scheinbar wagerecht ausgebreitet, große Strecken des Himmels bedeckt.

4) Die Regenwolke (nimbus).

Uebergangsformen sind die federige Haufenwolke (cirro-cumulus), gewöhnlich Schäfchen genannt, die federige Schichtwolke (cirro-stratus) und die geschichtete Haufenwolke (cumulo-stratus).

Von den eigentlichen feuchten Nebeln, welche, wie wir gesehen haben, aus kleinen Dunstbläschen bestehen, gänzlich verschieden sind die trockenen Nebel, welche aus, der Atmosphäre beigemischten, sehr kleinen Theilen fester Körper bestehen und mit den feuchten Nebeln nur dieß gemeinschaftlich haben, daß sie ebenfalls der Luft ihre Durchsichtigkeit entziehen. Zu denselben gehört der so genannte Haarrauch oder Höhenrauch, welcher, wie schon sein Name sagt, aus Rauchtheilen besteht, welche in großen Verbrennungsprozessen ihren Ursprung haben. Derselbe ist, besonders im Frühjahre, im nordwestlichen Deutschland in Folge des Abbrennens der Torfmoore in Holland sehr häufig und wird in der unmittelbaren Nähe dieser Gegenden Moorrauch genannt.

§. 246. Regen, Schnee, Hagel.

Wenn die Dunstbläschen in einer Wolke sich in zu großer Menge anhäufen, so sammeln sie sich in Tropfen und fallen als Regen nieder. Die Menge des niederfallenden Regens wird gemessen, indem man denselben in Gefäßen mit senkrechten Wänden (Ombrometern), welche man im Freien aufstellt, auffängt und die Höhe beobachtet, bis zu welcher das Regenwasser in diesen Gefäßen steigt. Bis zu der nehmlichen Höhe müßte dasselbe auch die Erdoberfläche bedecken, wenn es nirgends einen Abfluß hätte und nicht durch die Verdunstung vermindert würde.

Die Menge des jährlichen Regens ist für verschiedene Jahre an dem nehmlichen Orte sehr verschieden; sie kann in einem Jahre mehr, als doppelt so groß, als in einem anderen sein*). In der heißen Zone ist die jährliche Regenmenge beträchtlich größer, als in der gemäßigten und kalten

*) So zu Heidelberg im Jahre 1822 nur 15,4 Pariser Zoll, 1824 dagegen 33,6 Pariser Zoll.

Zone, was sich leicht aus der, durch die größere Wärme herbeigeführten, stärkeren Verdunstung erklärt. In den niederen Breiten stürzt der Regen in weit stärkeren und dichteren Güssen nieder, als in höheren Breiten. Dagegen nimmt die Zahl der Regentage im Allgemeinen mit der Breite zu. Bei Orten, welche unter derselben Breite liegen, wird das Verhältniß der jährlichen Regenmenge und die Zahl der Regentage vorzüglich durch die Nähe des Meeres bedingt. Beide sind im Allgemeinen an der Küste am größten, nehmen mit der Entfernung von derselben ab und haben im Inneren großer Continente ihre kleinsten Werthe. Von wesentlichem Einflusse auf die Menge und Häufigkeit des Regens sind auch hohe Gebirgszüge, indem dieselben, wie wir schon im vorhergehenden Paragraphen gesehen haben, überhaupt die Wolkenbildung und also auch die Entstehung des Regens begünstigen. Außerdem ist aber auch die Lage und Richtung derselben von großem Einfluße auf die Menge und Häufigkeit des Regens, wozu das in der Richtung von Norden nach Süden durch ein hohes Alpengebirge durchschnittene Skandinavien ein höchst auffallendes Beispiel liefert. Indem die durch westliche Winde herbeigeführten Regenwolken sich vorzüglich an der Westseite dieses Gebirges entladen, hat z. B. Bergen eine den Tropenländern gleiche und eine vier- bis fünfmal größere Regenmenge als das östlich gelegene Stockholm oder das südlich gelegene Kopenhagen.

Wenn die Condensation der Dämpfe in solchen Luftschichten erfolgt, deren Temperatur unter dem Gefrierpunkte liegt, so verdichten sich dieselben nicht zu Dunstbläschen, sondern zu kleinen Schneetheilchen, welche bei stärkerer Anhäufung als Schneeflocken niederfallen. Fängt man dieselben mit einem unter 0^0 erkalteten Körper auf, so sieht man, daß sie gewöhnlich die Gestalt regelmäßiger, sechseckiger Sterne haben, wovon Fig. 293 einige Beispiele zeigt. Gelangen die Schneeflocken bei ihrem Niederfallen in Regionen, deren Temperatur mehrere Grade über Null liegt, so lösen sie sich zu Regen auf. Auf diese Art geschieht es häufig, daß auf den Bergen Schnee fällt, während es im Thale regnet.

(Fig. 293.)

Eine der merkwürdigsten Naturerscheinungen ist der Hagel, für dessen Entstehung zur Zeit eine ganz gesicherte Theorie noch fehlt*).

Der kleinere Hagel, welchen man gewöhnlich Graupeln nennt, ist am häufigsten im Winter und Frühjahr, der größere Hagel dagegen, welcher in manchen Gegenden Schlossen genannt wird, im Sommer. Die Graupeln haben meistens eine rundliche Gestalt, sie sind stets undurchsichtig und haben fast die weiße Farbe des Schnees; ihr Durchmesser beträgt meist noch keine Linie. — Die Schlossen sind gewöhnlich länglichrund, fast birnförmig, sie bestehen meist aus einem undurchsichtigen, den Graupeln ähnlichen Kerne, welcher von einer durchsichtigen Eisrinde umgeben wird. Größere Hagelkörner sind aus abwechselnden durchsichtigen und undurchsichtigen Schichten zusammengesetzt. Ihr Durchmesser erreicht zuweilen die Größe von mehreren Zollen. — Dem

*) Der neueste Versuch einer Theorie des Hagels ist von Bettin in Pogg. Ann., Bd. 102, S. 246 u. f. gegeben worden.

Niederfallen der Schloſſen geht gewöhnlich ein ſtarkes Geräuſch in der Luft voraus, welches wahrſcheinlich durch die auf einander treffenden Körner erzeugt wird; gewöhnlich ſind die Schloſſen von Blitz und Donner begleitet. — Die vom Hagel getroffenen Gegenden bilden in der Regel lange ſchmale Streifen. — Der Hagel gehört vorzüglich der gemäßigten Zone an. In der heißen Zone gehört der Hagel, beſonders in den Ebenen, zu den ſeltenen Erſcheinungen, in der kalten Zone kommen häufig Graupeln, dagegen nur ſelten Schloſſen vor.

(Fig. 294.)

Fig. 294 ſtellt einen Regenmeſſer nach der einfachſten Einrichtung dar. Derſelbe beſteht aus zwei cylinderförmigen dicht auf einander paſſenden Gefäßen von genau gleichem Durchmeſſer, von denen das obere, um die Verdunſtung des ſich in dem unteren anſammelnden Regenwaſſers möglichſt zu verhindern, unten in einen engen Trichter ausläuft. An der Außenſeite des unteren Gefäßes iſt ein mit demſelben communicirendes Glasrohr angebracht, an welchem ſich der Stand des Waſſers in dieſem Gefäße erkennen läßt.

In Deutſchland kommen auf das Jahr etwa 146 Regentage; die Zahl der Regentage des Sommers iſt von der des Winters nicht erheblich verſchieden; die Menge des Regens iſt dagegen im Sommer beträchtlich größer, als im Winter. Bei einem Gewitter fällt im Sommer oft mehr Regen auf einmal nieder, als im Winter in mehreren Wochen. Die jährliche Regenmenge beträgt für Prag etwa 14, Wien 16, Berlin 22, für Göttingen 25, für Straßburg 26 Par. Zoll; ſie überſteigt auf dem Brocken in 3500 Fuß Höhe 48 Zoll. — Die größte bis jetzt auf der Erde beobachtete jährliche Regenmenge bietet Cherraponjie am Südabhange der Coſſya-Hills in Bengalen dar. Im Jahr 1851 war die Regenmenge in den einzelnen Monaten in engl. Zollen (1 engl. Zoll = 0,938 Par. Zoll) folgende:

Januar	0,75	April	27,60	Juli	99,40	October	40,30
Februar	3,05	Mai	115,15	Auguſt	103,90	November	
März	1,30	Juni	147,20	September	71,70	December	

Die Regenmenge des ganzen Jahres betrug folglich 610,35 engl. = 572,7 par. Zoll. Während es in den Monaten November und December (wahrſcheinlich) gar nicht, in den Monaten Januar, Februar und März verhältnißmäßig nur unbedeutend geregnet hat, haben die Monate April bis October die ungeheure Maſſe des niedergefallenen Regens geliefert.

Ueberhaupt zerfällt in dem größten Theile der heißen Zone das Jahr in zwei Hälften, die trockene und die naſſe Jahreszeit. In der erſteren iſt der Himmel faſt beſtändig heiter; die letztere beginnt dann, wenn die Sonne ſich dem Zenith nähert, und hat für verſchiedene Gegenden eine verſchiedene Dauer (drei bis fünf Monate). Der Regen, welcher in den heftigſten Güſſen niederſtürzt, beginnt ohngefähr um neun Uhr Morgens und dauert bis 4 Uhr Nachmittags. Des Morgens und Abends und in der Nacht iſt der Himmel wieder heiter. Der aufſteigende Luftſtrom, welchen die große Erhitzung der Erdoberfläche durch die ſenkrecht auffallenden Sonnenſtrahlen täglich veranlaßt, führt große Maſſen feuchter und warmer Luft in die oberen kälteren Regionen, wo ſich die Dämpfe derſelben condenſiren. So wie ſich die Sonne vom Zenith entfernt, nimmt auch die Menge und Dauer des täglichen Regens ab, bis derſelbe endlich ganz aufhört. In der Nähe des Aequators, in der Region der ſo genannten Calmen, finden faſt das ganze Jahr hindurch in den Nachmittagsſtunden ſtarke, von heftigen Gewittern begleitete Regengüſſe ſtatt.

In denjenigen Gegenden der heißen Zone dagegen, wo im offenen Meere oder an den Küſten das ganze Jahr hindurch die Paſſate regelmäßig wehen, iſt der Himmel faſt beſtändig heiter und der Regen höchſt ſelten. — Auch in anderen Gegenden, in der Sahara, in Oberägypten, an den Küſten von Arabien, auf der Hochebene von Iran in Perſien fehlt der Regen faſt gänzlich, indem die trockene Luft über dieſen durch die Sonnenſtrahlen ſtark erhitzten Ebenen die durch Winde herbeigeführten Dünſte wieder auflöſt. Nur wo in dieſen Gegenden ſich Berge erheben, iſt der Regen wieder häufiger.

— Auch in Südamerika regnet es in mehreren Gegenden nur äußerst selten. So ist in Lima und überhaupt an den Küsten von Peru der Regen fast unbekannt.

Die weiter unten §. 255 folgende Tabelle gibt die jährliche Regenmenge für verschiedene Orte der Erdoberfläche.

C. Specifische Wärme.

*§. 247. Bestimmung der specifischen Wärme.

Wenn man ein Pfund Wasser von 10^0 mit einem Pfunde Wasser von 30^0 vermischt, so zeigen beide Pfunde Wasser nach der Mischung 20^0*); indem also das eine Pfund Wasser 10^0 Wärme abgegeben hat, hat das andere eben so viel gewonnen. Ueberhaupt ist, wenn man zwei gleiche Quantitäten der nehmlichen Materie, welche eine ungleiche Temperatur haben, mit einander mischt, die Temperatur des Gemenges gleich dem arithmetischen Mittel der Temperaturen beider Gemengtheile**). Dieses ist jedoch nicht mehr der Fall, wenn man gleiche Gewichtstheile verschiedener Materien mit einander mengt. Mischt man z. B. ein Pfund Wasser von 10^0 mit einem Pfunde Eisenfeilicht von 30^0, so zeigen dieselben nach der Mischung eine Temperatur von 12^0. Indem also das Eisen 18^0 Wärme abgegeben hat, ist die Temperatur des Wassers nur um 2^0 erhöht worden. — Mischt man aber ein Pfund Wasser von 30^0 mit einem Pfund Eisen von 10^0, so zeigt ein in die Mischung eingetauchtes Thermometer 28^0. Die 2^0 Wärme, welche das Wasser in diesem Falle verloren hat, haben also in dem Eisen eine Temperaturerhöhung von 18^0 hervorgebracht.

Diese Versuche lehren, daß gleiche Quantitäten verschiedener Körper zu gleichen Temperaturerhöhungen sehr ungleiche Wärmemengen, z. B. ein Pfund Wasser neunmal so viel, als ein Pfund Eisen, erfordern. Man nennt die Wärmemenge, welche eine bestimmte Quantität eines Körpers zu einer bestimmten Temperaturerhöhung erfordert, die *specifische* Wärme des Körpers, und die Eigenschaft, vermöge deren die Körper eine ungleiche specifische Wärme besitzen, ihre *Wärmecapacität*. Man vergleicht alle anderen Körper mit dem *Wasser* und nimmt die specifische Wärme desselben als Einheit an. — Von allen festen und flüssigen Körpern besitzt das Wasser die größte specifische Wärme.

Da die specifische Wärme des Erdbodens nur ohngefähr ein Viertel von der des Wassers beträgt, so muß derselbe, wenn ihm durch die Sonnenstrahlen oder durch warme Luftströme Wärme zugeführt wird, sich bei Weitem rascher als das Wasser erwärmen; umgekehrt aber auch muß seine Temperatur, wenn ihm durch kalte Winde oder durch Ausstrahlung Wärme entzogen wird, rascher sinken, als die des Wassers unter gleichen Umständen.

Um die specifische Wärme der luftförmigen Körper zu finden, leitet man einen Strom des auf eine bestimmte Temperatur erwärmten Gases vermittelst

---

*) Wenn der Versuch ganz rein gelingen soll, muß man dem Gefäße, in welchem man die Mischung macht, schon vorher eine Temperatur von 20^0 geben, weil im entgegengesetzten Falle auch die Temperatur des Gefäßes auf das Resultat des Versuches von Einfluß ist.

**) Wenn man zwei ungleiche Quantitäten m und m′ der nehmlichen Materie, welche die Temperaturen t und t′ haben, mit einander mengt, so ist die Temperatur der Mischung $\tau = \frac{mt + m't'}{m + m'}$ Man nennt dieß die *Richmann*'sche Regel nach dem Physiker *Richmann*, welcher 1753 in Petersburg vom Blitze erschlagen wurde.

eines schlangenförmig gekrümmten Rohres durch eine abgewogene Quantität Wasser und beobachtet die hierdurch in demselben bewirkte Temperaturerhöhung.

Die specifische Wärme eines Körpers ist jedoch nicht unter allen Umständen dieselbe; sie wächst oder verringert sich, wenn ein Körper sein Volumen vergrößert oder vermindert. Hierin dürfte ebenfalls ein Grund für die in §. 229 angeführten Erscheinungen enthalten sein, daß Körper sich erwärmen, wenn sie in Folge eines Druckes oder Stoßes zusammengepreßt werden. In dem pneumatischen Feuerzeuge, welches aus einer gläsernen oder messingenen Röhre besteht, läßt sich durch rasches Niederstoßen eines dicht anschließenden Kolben ein an denselben befestigtes Stückchen Schwamm entzünden. — Eben so findet eine Erwärmung statt, wenn Gase von Flüssigkeiten oder porösen festen Körpern (vergl. oben §. 77) absorbirt und verdichtet werden. Umgekehrt tritt eine beträchtliche Erniedrigung der Temperatur ein, wenn aus einem Gefäße verdichtete Luft durch eine enge Oeffnung ausströmt.

Zu Folge des eben Ausgeführten muß der nehmliche Körper bei höheren Temperaturen, bei denen sich sein Volumen vergrößert, eine größere Wärmecapacität oder specifische Wärme besitzen, als bei niederen Temperaturen. Die Versuche zur Bestimmung der specifischen Wärme der Körper können daher auch nur dann übereinstimmende Resultate liefern, wenn sie bei der nehmlichen Temperatur angestellt worden sind. Ueberhaupt erfordern diese Versuche große Vorsicht und mehrfache Correctionen. Besonders ist die specifische Wärme des Gefäßes und der Verlust, welchen dasselbe und das Wasser während des Versuches durch Strahlung und durch Leitung der Wärme an die Umgebungen erleiden, zu berücksichtigen. Bei gehöriger Beobachtung aller Vorsichtsmaßregeln liefert jedoch die Mischungsmethode die genauesten Resultate und ist dem von Lavoisier und Laplace (1777) angewendeten Calorimeter vorzuziehen, bei welchem die specifische Wärme durch die Menge Eis, welche eine abgewogene und zu einer bestimmten Temperatur erwärmte Quantität eines Körpers schmilzt, gemessen wird.

Dülong und Petit haben (1827) aus ihren Versuchen das Gesetz gezogen, daß bei den meisten einfachen Stoffen sich die specifische Wärme umgekehrt wie das Atomgewicht verhält, und daß folglich die Atome der (meisten) einfachen Stoffe eine gleiche Wärmecapacität besitzen, also eine gleiche Wärmemenge bedürfen, um gleiche Temperaturerhöhung zu erfahren. Dasselbe gilt von zusammengesetzten Körpern, welche eine gleiche chemische Zusammensetzung haben.

Tafel über die specifische Wärme.

Name des Körpers.	Specifische Wärme.	Name des Körpers.	Specifische Wärme.
Blei	0,03	Steinkohle	0,28
Eichenholz	0,51	Zink	0,09
Eis	0,50	Zinn	0,06
Eisen	0,11	Alkohol	0,66
Glas	0,18	Olivenöl	0,5
Gold	0,03	Queckſilber	0,033
Kalk, kohlensaurer	0,27	Wasser	1,000
Kochsalz	0,23	Atmosphärische Luft	0,267
Kupfer	0,09	Kohlensäure	0,221
Lindenholz	0,67	Oelbildendes Gas	0,421
Messing	0,09	Sauerstoff	0,236
Platin	0,03	Stickstoff	0,275
Schwefel	0,20	Wasserdampf	0,847
Silber	0,06	Wasserstoff	3,294

D. Fortpflanzung der Wärme.

§. 248. Wärmeleitung.

Wenn zwei sich berührende Körper an der Berührungsstelle eine ungleiche Temperatur haben, so nimmt hier die Temperatur des wärmeren beständig ab, die des kälteren beständig zu, bis beide eine gleiche Temperatur zeigen.

Dasselbe findet bei den sich berührenden Theilen des nehmlichen Körpers statt. Man sagt in diesem Falle, die Wärme werde von einem Körper zum anderen oder von dem einen Theile eines Körpers zum folgenden fortgeleitet. Nach Maßgabe der Geschwindigkeit, mit welcher sich die Wärme in einem Körper ausbreitet, unterscheidet man gute und schlechte Wärmeleiter.

Unter den festen Körpern sind bekanntlich die Metalle die besten Wärmeleiter; bei Weitem schlechter wird die Wärme durch Glas, Marmor und andere Steine fortgeleitet. Zu den schlechtesten Wärmeleitern gehören Kohle, Holz, Stroh, Seide, Wolle, Federn.

Auf dem verschiedenen Vermögen der Körper, die Wärme zu leiten, beruhen eine Menge bekannter und leicht zu erklärender Erscheinungen. Wir beschränken uns darauf, folgende anzuführen: Metallene Kochgeschirre werden mit hölzernen Griffen versehen; unsere Kleidung, besonders im Winter, besteht aus schlechten Wärmeleitern; werden ein Stück Metall und ein Stein gleich stark erhitzt, so verbrennen wir uns eher an dem Metalle, als an dem Steine; in der Winterkälte fühlt sich Metall kälter an, als Stein oder Holz u. dgl.

Bei den Flüssigkeiten haben wir zwei Fälle zu unterscheiden, ob ihnen die Wärme von oben oder von unten zugeführt wird. Im letzteren Falle veranlaßt das Emporsteigen der unteren erwärmten und also ausgedehnten Schichten und das Niedersinken der oberen kälteren und daher specifisch schwereren Schichten beständige Strömungen in der Flüssigkeit, vermöge deren sich die Wärme rasch durch die ganze Masse verbreitet. Findet aber die Erwärmung von oben statt, indem man die Oberfläche der Flüssigkeit mit einem erwärmten Körper in Berührung bringt, so erweisen sich dieselben, mit Ausnahme des Quecksilbers, als sehr schlechte Wärmeleiter.

Das Nehmliche gilt auch von den luftförmigen Körpern. Dieselben besitzen ein so geringes Leitungsvermögen der Wärme, daß es sich durch directe Versuche gar nicht nachweisen läßt, zumal die Wärme die luftförmigen Körper noch auf eine andere Art, von welcher sogleich im folgenden Paragraphen die Rede sein wird, sehr leicht durchdringt, und es daher kaum möglich ist, die auf diese Art bewirkte Erwärmung von der durch Leitung herbeigeführten zu unterscheiden. Betten, Pelze und andere lockere Körper verdanken ihr geringes Leitungsvermögen für Wärme vorzüglich dem Umstande, daß zwischen den Federn, Haaren u. s. w. eine Luftschicht festgehalten wird, und daß die Luft ein äußerst schlechter Wärmeleiter ist.

Um das Wärmeleitungsvermögen der Metalle zu vergleichen, überzog Ingenhouß Drähte von gleichem Querdurchschnitt mit Wachs, tauchte dieselben mit dem einen Ende in erwärmtes Oel und beobachtete die Länge, bis zu welcher das Wachs an denselben in der nehmlichen Zeit schmolz. — Despretz verfertigte Stangen mit gleichem Querdurchschnitt aus verschiedenen Metallen, bohrte in gleichen Abständen Löcher in dieselben, füllte die Löcher mit Quecksilber aus und senkte in jedes Loch die Kugel eines Thermometers und erwärmte die Metallstäbe am anderen Ende. Auf diese Art erhielt er für die Metalle folgende Reihe des abnehmenden Leitungsvermögens: Gold, Platin, Silber, Kupfer, Eisen, Zink, Zinn, Blei. Zugleich ergab sich das Gesetz, daß, während die Thermometer einen gleichen Abstand von einander haben, also ihre Abstände von der Wärmequelle die Glieder einer zunehmenden arithmetischen Reihe sind, ihre Temperaturunterschiede eine abnehmende geometrische Reihe bilden.

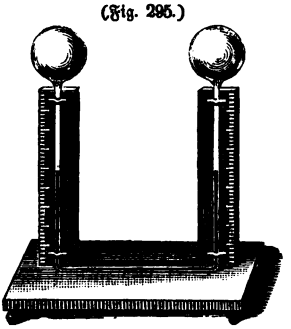
In neuerer Zeit (1853) haben Wiedemann und Franz die thermoelektrische Kette zur Abmessung der Leitungsfähigkeit der Metalle für Wärme benutzt. Sie brachten zu diesem Zwecke die Enden zweier in eine thermoelectrische Kette verbundenen Metalle, (Eisen und Neusilber,) mit einem Galvanometer in Verbindung, die Löthstelle aber mit verschiedenen Stellen der zu prüfenden, an einem Ende auf eine bestimmte Temperatur

erwärmten Metallstangen in Berührung und beobachteten die Ablenkung der Magnetnadel des Galvanometers, welche dieselbe durch den in Folge der Erwärmung der Löthstelle hervorgerufenen electrischen Strom erfuhr. Diese Untersuchungen haben zu einem Resultate, welches gänzlich von dem durch Despretz gewonnenen abweicht, geführt, daß nehmlich die Leitungsfähigkeit der Metalle für Wärme, wenn nicht genau, doch sehr nahe mit dem electrischen Leitungsvermögen derselben (vergl. oben §. 153) übereinstimmt.

§. 249. Wärmestrahlung.

Außer der mittelbaren Fortpflanzung der Wärme durch Leitung gibt es auch noch eine unmittelbare, bei welcher die Wärme von einem Körper zum anderen ohne die Vermittelung der dazwischen befindlichen Körper übergeht. Man nennt diese Art der Fortpflanzung Wärmestrahlung. Eine Folge der Wärmestrahlung ist z. B. die Hitze, welche wir im Gesicht empfinden, wenn wir uns in der Entfernung von einigen Fußen einem stark geheizten (eisernen) Ofen oder einem Kaminfeuer gegenüber befinden. Daß hier die Wärme nicht durch die Luft fortgeleitet worden ist, geht deutlich daraus hervor, daß das Gefühl von Hitze sogleich verschwindet, wenn zwischen den Ofen oder das Feuer und das Gesicht ein Schirm gebracht wird.

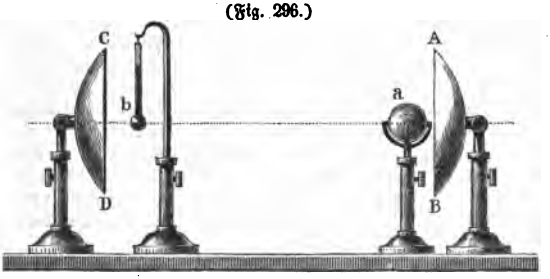
(Fig. 295.)



Bei den Versuchen über strahlende Wärme wendet man bequem Leslie's Differentialthermometer an. Dieses besteht aus einer Uförmigen Röhre, Fig. 295, welche in der Mitte mit einer gefärbten Flüssigkeit gefüllt ist, an ihren Enden aber in zwei mit Luft gefüllte Kugeln ausläuft. Wenn beide Kugeln gleich erwärmt sind, so steht die Flüssigkeit in beiden Schenkeln der Röhre gleich hoch. Wird aber eine Kugel mehr erwärmt als die andere, so fällt die Flüssigkeit auf der Seite der wärmeren Kugel und steigt auf der Seite der kälteren Kugel. Das Differentialthermometer zeigt daher keine bestimmte Temperatur, sondern nur überhaupt an, daß eine Verschiedenheit der Temperatur vorhanden ist; es hat aber vor einem Queckfilber- oder Weingeistthermometer den Vorzug größerer Empfindlichkeit.

Besonders lehrreich ist der folgende, von Pictet in Genf 1788 angestellte Versuch. Zwei Hohlspiegel AB und CD, Fig. 296, werden in einer Entfernung von 20 oder mehr Fußen so aufgestellt, daß ihre Axen in eine gerade Linie fallen. Nehmen wir dann an, in dem Brennpunkte a des einen Spiegels AB befinde sich ein leuchtender Gegenstand, so werden die von demselben ausgehenden Strahlen von dem Spiegel AB so zurückgeworfen, daß sie parallel mit der gemeinschaftlichen Axe beider Spiegel auf den Spiegel

(Fig. 296.)



CD fallen und daher von diesem nach dem Brennpunkte b hin reflectirt werden. Bringen wir jetzt in den Brennpunkt b die eine Kugel des Differentialthermometers oder noch besser, Nobili's Thermomultiplicator (siehe oben §. 152), und in den Brennpunkt a eine stark erhitzte, aber noch nicht glühende eiserne Kugel, so fällt das Differentialthermometer in b und zeigt also eine vermehrte Wärme an; es kehrt aber auf den früheren Stand zurück, so wie einer der Spiegel mit einem Schirme bedeckt wird, und das Fallen des Thermometers wiederholt sich fast augenblicklich, so wie man den Schirm wegzieht. Aus diesen Versuchen ergibt sich:

1) Die dunkele Wärme pflanzt sich so, wie das Licht in geraden Linien fort; wir nennen diese Linien Wärmestrahlen.

2) Die Wärmestrahlen werden nach demselben Gesetze zurückgeworfen, wie die Lichtstrahlen.

3) Die Fortpflanzung der strahlenden Wärme geschieht mit einer großen, vielleicht mit derselben Geschwindigkeit, wie das Licht.

Wenn man die Hohlspiegel in der angegebenen Art in einem Raume aufstellt, welcher eine sehr niedrige Temperatur, z. B. von -20^0, hat, und man bringt in den einen Brennpunkt einen Eiszapfen von -10^0, so kommt ein in dem anderen Brennpunkte befindliches Thermometer ebenfalls zum Steigen. Dieser und ähnliche Versuche führen zu dem Schlusse, daß alle Körper bei allen Temperaturen Wärme ausstrahlen.

Die von einem Körper ausgesendeten Wärmestrahlen werden von den ihn umgebenden Körpern theils zurückgeworfen, theils verschluckt (absorbirt). So könnte sich das Thermometer bei den oben angeführten Versuchen mit den Hohlspiegeln nicht erwärmen, wenn es nicht einen mehr oder minder großen Theil der auffallenden Wärmestrahlen verschluckte. — Wenn ein Körper eben so viel Wärme ausstrahlt, als er von den Wärmestrahlen, welche die umgebenden Körper ihm zusenden, verschluckt, so bleibt seine Temperatur unverändert. Sie muß aber fallen oder steigen, je nachdem er eine größere Menge Wärmestrahlen aussendet oder eine größere Menge verschluckt.

So strahlt z. B. die Erde während eines Jahres eben so viel Wärme in den Weltraum aus, als sie von der Sonne empfängt. Ohne diese Ausstrahlung müßte die Temperatur der Erde fortwährend wachsen, da sie beständig von der Sonne Wärme empfängt. Auf der Wärmestrahlung beruht auch die größere Kälte der Nacht bei heiterem, als bei bedecktem Himmel. In dem letzteren Falle nehmlich strahlen die Wolken gegen die Erdoberfläche theils Wärme aus, theils werfen sie die von der Erdoberfläche ausgesendeten Wärmestrahlen zurück und geben so derselben einen mehr oder minder großen Ersatz für die ausgestrahlte Wärme, welcher bei heiterem Himmel wegfällt.

§. 250. Fortsetzung.

Die Menge der von einem Körper ausgestrahlten Wärme wächst mit der Temperatur desselben, sie hängt aber außerdem auch noch von der Beschaffenheit seiner Oberfläche ab. Körper, welche eine geringe Dichtigkeit haben, strahlen im Allgemeinen die Wärme stärker aus, als dichtere, ferner dunkele Körper stärker, als helle. Von allen bekannten Körpern strahlt der Kienruß die Wärme am stärksten, polirte Metalle aber strahlen dieselbe am

schwächsten aus. Man kann sich hiervon leicht durch den folgenden (von Leslie 1804 zuerst angestellten) Versuch überzeugen:

In den einen Brennpunkt a, (Fig. 296), der auf die oben angegebene Art aufgestellten Hohlspiegel bringt man einen mit heißem Wasser gefüllten Würfel von Messingblech, an welchem eine Seite polirt, eine andere rauh gelassen oder geritzt, eine dritte mit einer Glasscheibe bedeckt und endlich eine vierte über einer Oellampe mit Ruß stark geschwärzt ist. Ein in dem anderen Brennpunkte b angebrachtes Thermometer zeigt dann die geringste Zunahme der Temperatur an, wenn der Würfel die polirte Seite gegen den Hohlspiegel AB wendet, in dessen Brennpunkte er sich befindet, die Zunahme der Wärme beträgt etwas mehr, wenn der Würfel die geritzte Seite dem Spiegel AB zukehrt, indem durch das Ritzen weichere Stellen des Metalls blos gelegt werden; sie ist noch größer, wenn der Würfel die mit einer Glasplatte belegte Seite, am größten aber, wenn er die mit Ruß überzogene Seite dem Hohlspiegel AB zuwendet.

Dasselbe lehrt auch der folgende Versuch: In einem geräumigen Zimmer werden zwei mit siedendheißem Wasser gefüllte messingene Gefäße, um die Wärmeleitung möglichst zu verringern, an feinen Schnüren aufgehängt. Beide Gefäße haben übrigens eine ganz gleiche Beschaffenheit, nur hat das eine eine blanke, das andere eine durch Ruß geschwärzte Oberfläche, und in jedes der Gefäße ist ein Thermometer eingetaucht. Man sieht dann die Temperatur des Wassers in dem geschwärzten Gefäße bedeutend rascher, als in dem Gefäße mit blanker Oberfläche abnehmen. — Körper, welche ihre Wärme möglichst beibehalten sollen, wie z. B. Röhren, durch welche Dämpfe, warmes Wasser u. dgl. fortgeleitet werden, müssen daher eine blanke, dichte Oberfläche haben. Bei denjenigen Körpern dagegen, welche die Bestimmung haben, ihre Wärme an die Umgebungen abzugeben, wie z. B. Oefen, Ofenpfeifen innerhalb des Zimmers u. dgl., findet zweckmäßiger das Gegentheil statt.

Diejenigen Körper, welche die Wärme am stärksten ausstrahlen, verschlucken auch die ihnen von anderen Körpern zugesendeten Wärmestrahlen am reichlichsten und werfen am wenigsten von denselben zurück. Hierdurch wird es begreiflich, daß in einem geschlossenen Raume, z. B. in einem Zimmer, alle Körper, auch wenn dieselben eine sehr verschiedene Oberfläche haben, allmählig eine gleiche Temperatur annehmen, indem diejenigen Körper, welche vermöge der Beschaffenheit ihrer Oberfläche die meiste Wärme ausstrahlen, auch von den Wärmestrahlen, welche die umgebenden Körper ihnen zusenden, am meisten aufnehmen.

So wie die durchsichtigen Körper den Lichtstrahlen einen Durchgang gestatten, so gibt es auch Körper, welche die Wärmestrahlen durch sich hindurchlassen. Man nennt diese Körper diatherman; Körper aber, welche keine Wärmestrahlen durchlassen: atherman. Im Allgemeinen sind die durchsichtigen Körper auch mehr oder weniger diatherman; dagegen darf man aus dem Verhältnisse, nach welchem ein Körper den Lichtstrahlen einen Durchgang gestattet, nicht unbedingt auf das Verhältniß schließen, nach welchem er die dunkelen Wärmestrahlen hindurchläßt. Von allen bekannten Körpern ist das Steinsalz am meisten diatherman. Glas, Wasser, Eis lassen von den von leuchtenden Körpern ausgehenden Strahlen, besonders von den Sonnenstrahlen, einen beträchtlichen Theil hindurch; sie verschlucken aber die von

dunkelen, nur mäßig erhitzten Körpern ausgesendeten Strahlen fast gänzlich. Steinsalz dagegen gestattet auch den dunkelen Wärmestrahlen den vollständigsten Durchgang*).

Während die Sonnenstrahlen die Glasfenster unserer Wohnungen, der Gewächshäuser u. s. w. mit Leichtigkeit durchdringen und den inneren Raum und die in demselben befindlichen Gegenstände erwärmen, treten dagegen die von diesen ausgesendeten dunkelen Wärmestrahlen durch das Glas nicht wieder aus.

Indem die dunkelen Wärmestrahlen aus einem Mittel in ein anderes übergehen, werden sie in ähnlicher Art, wie die Lichtstrahlen, gebrochen; sie besitzen aber eine noch geringere Brechbarkeit, als die rothen Lichtstrahlen und müssen folglich auch eine geringere Vibrationsgeschwindigkeit, aber größere Wellenlänge haben.

Läßt man die Sonnenstrahlen durch ein Prisma aus irgend einer durchsichtigen Substanz hindurchgehen, so nimmt in dem entstandenen Farbenbilde die Wärme vom Violetten nach dem Rothen zu; aber auch jenseits der Grenzen des Violetten und Rothen findet noch Erwärmung statt; bei Prismen aus gewöhnlichem Glase findet die stärkste Wirkung im vollen Roth statt; bei Prismen aus Steinsalz fällt das Maximum der Wärme sogar jenseits des Roths.

Melloni hat 1831 mit Hülfe des Thermomultiplicators, welcher eine so große Empfindlichkeit besitzt, daß man bei den meisten Versuchen der Hohlspiegel ganz entbehren kann, und der überdieß sehr genaue Abmessungen zuläßt, gezeigt, daß es eben so, wie wir verschiedenfarbige Lichtstrahlen unterscheiden, auch verschiedenartige Wärmestrahlen gibt, welche von verschiedenen Körpern nach verschiedenen Verhältnissen zurückgeworfen und durchgelassen oder absorbirt werden. Man nennt diese Verschiedenheit der Wärmestrahlen Thermanismus. Daß wir vermittelst der von dunkelen Körpern ausgehenden Wärmestrahlen dieselben nicht zu sehen vermögen, erklärt sich einfach daraus, daß die durchsichtigen Substanzen des Auges für diese Strahlen atherman sind. Sollte es Thiere geben, deren Augen für dieselben diatherman wären, so würden sich diesen Thieren solche Körper, die uns als dunkel erscheinen, als selbstleuchtende zeigen.

Nach den Untersuchungen von Knoblauch (1846) wächst die Mannigfaltigkeit der von einem Körper ausgesendeten Wärmestrahlen im Allgemeinen mit der Temperatur desselben. Körper, deren Temperatur 100° bis 110° nicht übersteigt, dürften nur Wärmestrahlen von einerlei Art aussenden.

Forbes in England hat 1835 eine Polarisation, Fizeau und Foucault haben (1847) die Interferenz und Knobloch (1848) die Beugung der Wärmestrahlen nachgewiesen. — Melloni hat (1845) gezeigt, daß auch die Mondstrahlen erwärmend wirken.

Daß die Erscheinungen, deren Ursache wir als Licht oder Wärme bezeichnen, wesentlich auf dem nehmlichen Principe beruhen, dafür sprechen auch die in neuester Zeit (1857) von Franz angestellten Untersuchungen, denen zu Folge farbige Lichtstrahlen bei dem Durchgange durch gefärbte Flüssigkeiten in gleichem Verhältnisse, (so weit überhaupt eine Abmessung möglich war,) an erwärmender und erleuchtender Kraft einbüßen.

§. 251. Der Thau und der Reif.

Durch die Wärmestrahlung geschieht es häufig, daß die Körper an der Oberfläche der Erde am Abend oder während der Nacht bis mehrere Grade unter die Temperatur der Luft erkalten und sich in Folge hiervon die Dämpfe der mit denselben in Berührung stehenden Luftschichten zu Tropfen condensiren, wodurch der Thau oder statt dessen der Reif entsteht, wenn die Temperatur der durch Strahlung erkalteten Körper bis unter Null herabgeht. Der Thau bildet sich, wie aus den schon in Paragraph 249 angeführten

*) Auch farbloser Flußspath läßt von den Wärmestrahlen dunkeler Körper einen beträchtlichen Theil hindurch.

Gründen hervorgeht, bei Weitem reichlicher in heiteren Nächten, als bei bedecktem Himmel. — Eben so bethauen Körper, welche sich unterhalb irgend eines Daches befinden, wenig oder gar nicht. — Der Thau fällt reichlicher bei Windstille, als bei stark bewegter Luft. Denn im letzteren Falle erhalten die Körper an der Erdoberfläche für die Wärme, welche sie durch Strahlung verlieren, dadurch Ersatz, daß sie mit fortwährend wechselnden warmen Luftschichten in Berührung kommen, weßhalb dieselben nicht bedeutend unter die Lufttemperatur erkalten können. — Nicht alle Körper bethauen gleich stark. Der Thau erscheint reichlicher an Gräsern und anderen Pflanzen, als an Steinen oder dem nackten Erdboden, weil größere und compactere Massen durch die Strahlung langsamer und weniger erkalten, als frei in die Luft hineinragende Grashalme oder Blätter. — Der Thau bildet sich ferner reichlicher in der Ebene, als an Bergabhängen, weil hier die erkaltenden Luftschichten vermöge ihres größeren specifischen Gewichtes herabgleiten und durch wärmere ersetzt werden. Aus gleichen Gründen wirken die Nachtfröste zur Frühlings- und Herbstzeit häufig auf Hügeln weniger nachtheilig, als in der Ebene.

Der Engländer Wells hat zuerst (1814) gründliche Untersuchungen über den Thau angestellt und die richtige Erklärung desselben gegeben. Indem er unter Anderen Büschel von Baumwolle, in welche er Thermometer eingesenkt hatte, verschiedenen Bedingungen unterwarf, fand er, daß diejenigen, deren Temperatur am tiefsten unter die Lufttemperatur herabgegangen war, sich auch am reichlichsten mit Thau bedeckt und am meisten an Gewicht zugenommen hatten. Diese Untersuchungen sind in neuerer Zeit von Melloni wiederholt und im Wesentlichen bestätigt worden.

E. Vertheilung der Wärme an der Erdoberfläche

§. 252. Erwärmung durch die Sonnenstrahlen.

Die Verschiedenheiten der Temperatur an der Oberfläche der Erde sind hauptsächlich eine Folge der ungleichen Wirkung der Sonnenstrahlen. Da wir diese Verhältnisse im Wesentlichen bei unseren Lesern als aus der mathematischen Geographie bekannt voraussetzen dürfen, so beschränken wir uns auf folgende allgemeine Bemerkungen. Die Erwärmung eines Körpers durch die Sonnenstrahlen hängt zunächst von der Richtung derselben ab. Ein Körper wird durch die Sonnenstrahlen am stärksten erwärmt, wenn dieselben seine Oberfläche senkrecht treffen; die bewirkte Erwärmung ist um so kleiner, je spitzer der Winkel ist, welchen die Sonnenstrahlen mit der Oberfläche des Körpers bilden.

Von wesentlichem Einfluß auf die durch die Sonnenstrahlen bewirkte Erwärmung eines Körpers ist auch die Beschaffenheit seiner Oberfläche, ins Besondere die Farbe. Schwarze oder dunkel gefärbte Körper erhitzen sich in den Sonnenstrahlen stärker, als weiße oder hell gefärbte. So belästigt uns bekanntlich im Sommer die Sonnenhitze mehr, wenn wir dunkele, als wenn wir helle Kleider tragen. Ein Thermometer, dessen Kugel man geschwärzt hat, steigt in den Sonnenstrahlen bedeutend höher, als ein Thermometer mit blanker Oberfläche, während beide im Schatten die nehmliche Temperatur zeigen. Eben so wird beschmutzter Schnee bei weitem rascher durch die Sonnenstrahlen geschmolzen, als der reine Schnee von blendend weißer Farbe. Auf gleichem Grunde beruht auch die Erscheinung, daß im Winter der Schnee bei heiterem Wetter zuerst um Baumstämme oder Steine, welche aus dem Schnee hervorragen, geschmolzen wird, indem diese Körper vermöge

ihrer dunkelen Farbe sich stärker, als der weiße Schnee durch die Sonnenstrahlen erwärmen.

Die Sonnenstrahlen wirken auf hohen Bergen, obschon hier aus Gründen, welche wir weiter unten kennen lernen werden, eine niedrigere Temperatur herrscht, stärker erwärmend, als im Thale. Indem nehmlich die Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre hindurchgehen, wird ein um so größerer Theil absorbirt, je größer der Weg ist, welchen sie in der Atmosphäre zurücklegen und durch je dichtere Schichten derselben sie hindurchgehen.

Nach Bouguer verlieren die senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre bei völlig heiterem Wetter ein Drittel ihrer Stärke. Kämtz fand, daß die Sonnenstrahlen, indem sie eine Luftschicht von 6000 Fuß durchdringen, ein Fünftel ihrer erwärmenden Kraft einbüßen.

Franklin in Amerika breitete an einem heiteren Tage verschieden gefärbte Tuchlappen auf einer Schneefläche aus. Ein schwarzer und ein dunkelblauer Lappen sanken am raschesten in den Schnee ein; die übrigen um so langsamer, je heller ihre Farbe war; an einem weißen Lappen dagegen war gar kein Einsinken zu bemerken.

§. 253. Temperatur der Luft.

Zur Beobachtung der Lufttemperatur bedient man sich eines gewöhnlichen Thermometers, von dessen Richtigkeit man sich vorher überzeugt hat, und hängt dasselbe an der Nordseite eines Gebäudes einem freien Platze gegenüber in der Entfernung von $^1/_2$ bis 1 Fuß von der Wand und in der Höhe von mehreren Fußen über dem Boden auf. Beobachtet man ein solches Thermometer während eines Tages möglichst oft in gleichen Zeitintervallen, etwa alle ganzen oder halben Stunden, und nimmt aus sämmtlichen Beobachtungen das arithmetische Mittel, so erhält man die mittlere Temperatur des Tages.

Durch Beobachtungen, welche in der angegebenen Art mehrere Monate hindurch an verschiedenen Orten fortgesetzt wurden, hat sich ergeben, daß in unseren Gegenden die geringste Tageswärme gegen Sonnenaufgang, die größte Tageswärme in den kürzesten Tagen ohngefähr um 1 Uhr, in den längsten Tagen zwischen 2 und 3 Uhr stattfindet, daß ferner das arithmetische Mittel aus der größten und kleinsten Tageswärme sehr nahe der mittleren Tageswärme gleich ist. Diese Regeln gelten jedoch nur im Allgemeinen; veränderte Windesrichtung, atmosphärische Niederschläge u. dgl. können dieselben für einzelne Tage ganz ungültig machen.

Daß die größte Tageswärme nicht gerade auf den Mittag fällt, wo die Sonne am höchsten steht, und also die Strahlen derselben am kräftigsten wirken, sondern erst später eintritt, erklärt sich leicht daraus, daß die Erdoberfläche und die Luft sich nur allmählig durch die Sonnenstrahlen erwärmen und daher die höchste Temperatur erst, nachdem die Strahlen der Sonne am stärksten gewirkt haben, eintreten kann. Aus gleichen Gründen fällt, wie wir sogleich sehen werden, die größte oder geringste Jahreswärme nicht mit den längsten und kürzesten Tagen zusammen, sondern tritt in der Regel erst später ein.

Wenn man aus den mittleren Temperaturen aller Tage eines Monats das arithmetische Mittel nimmt, so erhält man die mittlere Temperatur des Monats und eben so aus dem arithmetischen Mittel der mittleren Temperaturen aller Monate eines Jahres die mittlere Temperatur des Jahres. Aus mehrjährigen, an dem nehmlichen Orte angestellten Beobach-

tungen ergibt sich endlich, wenn man das arithmetische Mittel der mittleren Temperaturen einer längeren Reihe von Jahren nimmt, die mittlere Temperatur des Ortes.

In unseren Gegenden ist der Januar der kälteste, der Juli der heißeste Monat; die mittlere Temperatur des Aprils oder Octobers ist nahe der mittleren Temperatur des Jahres gleich. Auch diese Regeln gelten nur im Allgemeinen; einzelne Jahre weichen von denselben oft nicht unbedeutend ab. Nicht alle Jahre haben eine gleiche mittlere Temperatur; einzelne Jahre können von der wahren mittleren Ortstemperatur um 1^0 bis 2^0 abweichen.

Wie wir oben (in §. 234) gesehen haben, gehen in der gemäßigten Zone der Aequatoreal- und der Polar-Strom nicht mehr über einander, sondern neben einander her. Wenn daher z. B. das Vorwalten südwestlicher Winde in irgend einer Gegend der nördlichen Halbkugel den Winter ungewöhnlich mild oder den Sommer naß und kühl macht, so werden in einer anderen Gegend der nehmlichen Halbkugel nordöstliche Winde im Winter strenge Kälte, im Sommer aber heitere und heiße Witterung herbeiführen. Und in der That steht die Witterung in Europa häufig mit der in Nordamerika oder Sibirien im Gegensatze. Ein anomaler Verlauf der Witterung hat demnach, (wie nicht selten irrthümlich angenommen wird,) nicht in kosmischen, sondern lediglich in tellurischen Verhältnissen seinen Grund.

Die täglichen Temperaturdifferenzen sind im Sommer größer, als im Winter; die Größe der jährlichen Temperaturdifferenzen nimmt mit der geographischen Breite zu*). Selbst in sehr hohen Breiten (Stockholm, Petersburg) übertrifft die Hitze im Sommer häufig um mehrere Grade sogar die mittlere Wärme am Aequator (28^0), was sich leicht aus der großen Länge der Tage in den höheren Breiten während des Sommers erklärt.

Die täglichen und jährlichen Temperaturdifferenzen sind im Inneren großer Continente beträchtlicher, als in der Nähe des Meeres. Als die erste Ursache dieser Verschiedenheit führen wir die sehr ungleiche Wärmecapacität des Wassers und des Erdbodens (vergl. oben §. 247) an, vermöge deren sich das Wasser bei Weitem langsamer, als der Erdboden unter gleichen Umständen erwärmen oder abkühlen muß. Ein zweiter Grund besteht in dem ungleichen Absorptions- und Ausstrahlungsvermögen der Oberfläche des Meerwassers und des mit Vegetation bedeckten Erdbodens, in Folge dessen dieser sich im Sommer oder bei Tage stärker durch die Sonnenstrahlen erwärmt, während des Winters oder des Nachts aber auch durch Ausstrahlung sich stärker abkühlt. Ferner wird wegen der an der Oberfläche des Wassers beständig stattfindenden Verdunstung eine große Menge der von demselben während des Sommers oder des Tages aufgenommenen Wärme auf die Bildung von Dämpfen verwendet und gebunden, durch die Condensation derselben

*) So beträgt z. B. die höchste und die niedrigste beobachtete Temperatur in

Surinam	32,3	und	21,3,	Differenz	11,0
Cairo	40,2	"	9,1	"	31,1
Rom	38,0	"	—5,9	"	43,9
Paris	38,4	"	—23,1	"	61,5
Prag	35,4	"	—27,5	"	62,9
Moskau	32,0	"	—38,8	"	70,8

aber während des Winters oder der Nacht wieder frei. Endlich bewirken auch die in dem Meere beständig stattfindenden Strömungen, daß dasselbe das ganze Jahr hindurch eine mehr gleichmäßige Temperatur beibehält, in mittleren Breiten daher während des Sommers kälter, während des Winters aber wärmer ist, als das benachbarte Festland.

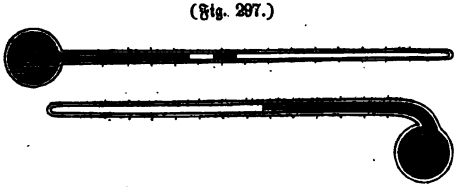
Man unterscheidet hiernach Insel- oder Küstenklima, welches sich durch warme Winter und kühle Sommer, und Continentalklima, welches sich durch heiße Sommer und kalte Winter charakterisirt. Während die Nähe des Meeres die Hitze des Sommers und die Kälte des Winters verringert, erhöht oder erniedrigt dieselbe in den mittleren Breiten die mittlere Temperatur des Jahres entweder gar nicht oder nur unbedeutend.

Die Bretagne, die Küsten der Normandie, England und Irland zeichnen sich durch äußerst milde Winter, aber auch durch eine geringe Wärme und den häufig in Nebel gehüllten Himmel ihrer Sommer aus. Selbst im nordöstlichen Irland, wo (unter gleicher Breite mit Königsberg) nur selten im Winter Eis friert, gedeiht die Myrthe so freudig, wie in Portugal. Die geringe Wärme des Sommers vermag dagegen in England die Weintrauben, Mandeln und Wallnüsse nicht zur Reife zu bringen. In Astrachan, welches mit dem Nordcap gleiche Winterkälte, aber eine hohe Sommerwärme hat, werden die schönsten Obstsorten und die herrlichsten Trauben gezogen.

Die mittlere tägliche Lufttemperatur kann auch durch das arithmetische Mittel weniger, an passenden Stunden angestellten Beobachtungen nahe richtig erhalten werden. So eignen sich für diesen Zweck besonders die gleichnamigen Stunden 10 Uhr Morgens und Abends, 4 Uhr Morgens und Nachmittags; ferner die Stunden 7 Uhr Morgens, 2 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends.

Zur Beobachtung des täglichen Maximums und Minimums der Temperatur eignet sich besonders der Thermograph. Dieser besteht aus zwei wagerecht liegenden Thermometern, einem Queckfilber- und einem Weingeistthermometer, Fig. 297. In dem ersteren befindet sich vor dem Queckfilber in der Röhre ein kleines Stiftchen von Eisen, welches bei der Ausdehnung des Queckfilbers in der Röhre vorangeschoben wird, aber bei der Zusammenziehung desselben sich nicht wieder rückwärts bewegt und so den höchsten Stand angibt, welchen das Queckfilber in der Röhre überhaupt erreicht hat. Um das Minimum der Temperatur anzuzeigen, befindet sich in der Röhre des Weingeistthermometers ein kleines Stäbchen von Glas, welches an beiden Enden etwas dicker, als in der Mitte ist. Wenn der Weingeist in der Röhre sich zusammenzieht, so folgt das Glasstäbchen vermöge der Adhäsion zwischen Weingeist und Glas demselben; bei der Ausdehnung des Weingeistes aber fließt derselbe neben dem Glasstäbchen vorbei, ohne dasselbe mitzunehmen, welches daher die niedrigste Temperatur anzeigt, welche innerhalb eines gewissen Zeitraumes stattgefunden hat.

(Fig. 297.)



Es ist eine in Deutschland allgemein verbreitete Meinung, daß in den Tagen des Mais Mamertus, Pankratius und Servatius nach vorausgegangener wärmerer Witterung eine auffallende Erniedrigung der Temperatur einzutreten pflege. Diese Ansicht ist zwar nicht ganz ungegründet; die Erscheinung steht jedoch nicht vereinzelt da; vielmehr ist der Verlauf der Temperatur im Frühjahre überhaupt ein sehr unregelmäßiger und die im Allgemeinen stattfindende Zunahme der Wärme häufig durch Rückgänge unterbrochen, welche sich selbst in nicht geringerem Maße bis in den Juni hin wiederholen. Jene drei Tage verdanken nach Dove ihre Berühmtheit in Deutschland vorzüglich dem Umstande, daß sie die Grenze bezeichnen, welche im Frühjahre die Nachtfröste nicht leicht überschreiten, die, wenn sie um diese Zeit noch eintreten, durch den Schaden, welchen sie in der bereits weit vorgeschrittenen Vegetation anrichten, sich besonders bemerklich machen, während andere Rückgänge der Wärme um eine eben so beträchtliche Zahl von Thermometergraden weniger beachtet werden.

§. 254. Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe.

Unter gleichen Breitengraden und übrigens gleichen Umständen ist die Temperatur eines Ortes um so niedriger, je höher derselbe über dem Meeresspiegel liegt. Diese Erscheinung beruht hauptsächlich darauf, daß der feste Erdkörper, besonders das Innere desselben, eine weit höhere Temperatur, als der Weltraum hat, wonach denn natürlich die Temperatur mit der Entfernung von dem Erdkörper abnehmen muß. Die Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe ist für verschiedene Breitengrade, ferner für verschiedene Jahres- und Tageszeiten verschieden; dieselbe ist beträchtlicher bei einzeln stehenden Berggipfeln, als bei zusammenhängenden Gebirgsmassen, besonders bei Hochebenen, indem in der größeren Masse eine verhältnißmäßig vollständigere Fortleitung der Wärme aus den tieferen und wärmeren Erdschichten stattfindet.

In den Alpen kann man annehmen, daß im Mittel bei einem Steigen von 600 Fuß die Lufttemperatur um 1^0 sinkt.

Kennt man die Höhe eines Ortes über dem Meeresspiegel und das Gesetz, nach welchem die Temperatur mit der Höhe abnimmt, so läßt sich aus der beobachteten mittleren Temperatur des Ortes auch diejenige herleiten, welche demselben bei gleicher Höhe mit dem Meeresspiegel zukommen würde. (In der am Ende beigefügten Charte der Isothermen sind die Temperaturen höher gelegener Gegenden auf den Meeresspiegel reducirt.)

In Folge der Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe gibt es überall auf der Erde eine Höhe, in welcher der Schnee durch das ganze Jahr liegen bleibt; die Grenze des ewigen Schnees, Schneegrenze, erreicht in der Nähe des Aequators die größte Höhe und senkt sich gegen die Pole hin. Sie hängt jedoch nicht allein von der geographischen Breite, sondern vorzüglich von der Wärme des Sommers und von der Menge des während des Winters fallenden Schnees ab.

Bei den Beobachtungen, welche unter Leitung von Welsch auf vier Luftreisen, welche derselbe mit Green in den Monaten August bis November des Jahres 1852 unternahm, angestellt wurden, zeigte sich, daß die Lufttemperatur mit der Höhe nicht in regelmäßiger Progression und bei den in verschiedenen Monaten angestellten Luftreisen in sehr verschiedener Weise abnahm. Darin stimmten jedoch die Beobachtungen bei sämmtlichen vier Luftfahrten überein, daß in einer gewissen bei den verschiedenen Fahrten verschiedener Höhe (2500—6000 engl. Fuß) ein Stillstand oder nur eine sehr geringe Abnahme der Temperatur eintrat, worauf dann erst wieder in größerer Höhe eine regelmäßige Abnahme der Temperatur folgte. Der Grund dieser Erscheinung dürfte die durch Condensation der Dämpfe frei werdende Wärme sein.

Da mit der Höhe die Wärme sich vermindert, so muß beim Emporsteigen in Gebirgen auch die Vegetation einen anderen Charakter annehmen. In den niedrigen Gegenden Italiens trifft man bis zur Höhe von 1200 Fuß in den Waldungen die immer grünen Bäume, welche auch im Winter ihre Blätter nicht verlieren, und den Anbau der Orange und des Oelbaumes; von 1200 bis 3000 Fuß hat die Vegetation einen ähnlichen Charakter, wie im südlichen Deutschland; es gedeihen hier die Kastanien, der Wein und das Getreide; über 3000 Fuß wird die Vegetation mehr der des nördlichen Europa ähnlich; bis 4000 Fuß wird noch Getreide gebaut, höher hinauf nur noch Viehzucht getrieben; bis 6000 Fuß reichen die Laub-, ins Besondere Buchenwaldungen; in noch größerer Höhe hört der Baumwuchs gänzlich auf und es werden nur noch Alpenpflanzen angetroffen, bis in 9000 Fuß Höhe auf dem Gipfel des Aetna die Grenze des ewigen Schnees erreicht wird.

Auf diese Art bietet in wärmeren Ländern das Emporsteigen um einige tausend Fuß im Verlaufe weniger Stunden eben so große Abwechselungen in den klimatischen und Vegetationsverhältnissen dar, als eine langwierige Reise in der Ebene bis in entfernte, um zahlreiche Breitengrade nördlicher gelegene Länder.

Die folgende Tabelle gibt für einige Gegenden der Erde die untere Grenze des ewigen Schnees in Pariser Fußen an.

Gebirge.	Nördl. Breite.	Schneegrenze.
Quito	0°	15000
Abyssinien	13	13300
Mexiko	19	14000
Südlicher Abhang des Himalaya	31°	12300
Nördlicher Abhang des Himalaya	31°	15700
Aetna	37½°	9000
Pyrenäen	43°	8500
Kaukasus	43°	10500
Alpen	46°	8400
Karpathen	49°	8000
Norwegen, im Innern	61°	4800
Island	65°	2900
Norwegen, im Innern	70°	3300
Norwegen, Küste	71°	2200

Obschon die Schneegrenze sich im Allgemeinen mit der Entfernung vom Aequator mehr und mehr senkt, so zeigt doch ein flüchtiger Blick in die vorstehende kleine Tabelle vielfache Abweichungen von dieser Regel. So ist z. B. unter gleicher Breite die Schneegrenze an der nördlichen Abdachung des Himalaya um 3400 Fuß höher, als an der südlichen, theils weil die sich in eine Hochebene ausbreitende nördliche Abdachung eben deßhalb auch heißere Sommer hat, als die steil abfallende südliche, theils auch, weil an letzterer die mit Feuchtigkeit geschwängerten Südwinde vorzugsweise reiche Niederschläge, im Winter starke Schneefälle herbeiführen. — Die untere Grenze des ewigen Schnees reicht an der nördlichen Abdachung des Himalaya selbst 700 Fuß höher hinauf, als bei Quito unter dem Aequator. In den an Schnee reichen Pyrenäen steigt die Schneegrenze um 2000 Fuß tiefer hinab, als unter gleicher Breite im Kaukasus; eben so liegt die Schneegrenze an den Küsten Norwegens niedriger, als im Innern, weil an jenen mehr Schnee niederfällt, und die mittlere Temperatur des Sommers im Innern höher steigt, als an der Küste in der Nähe des Meeres.

Die obigen Angaben über die Grenze des ewigen Schnees finden jedoch auf die so genannten Schneegruben, in denen der Wind im Winter den Schnee zusammenweht, und von denen auch im Sommer die Sonnenstrahlen durch hohe Gebirgswände abgehalten werden, und die Gletscher keine Anwendung. Die Gletscher entstehen dadurch, daß der am Tage durch die Sonnenstrahlen auf den Bergen geschmolzene Schnee während der Nacht wieder zu Eis friert. Indem diese Eismassen an den Bergabhängen herabgleiten, erstrecken sich die Gletscher oft bis tief ins Thal, selbst zwischen grünende Wiesen herab. Sie sind hierbei beständig in einer abwärts gehenden Bewegung begriffen, indem das am unteren Rande geschmolzene Eis durch von oben her nachgleitende Eismassen ersetzt wird.

§. 255. Isothermen.

Im Allgemeinen ist zwar die mittlere Lufttemperatur in der Nähe des Aequators am größten und nimmt mit der Entfernung von demselben und der Annäherung an die Pole ab. Vergleicht man jedoch, z. B. in Europa, Orte, welche die nehmliche geographische Breite und ungefähr gleiche Höhe über der Meeresfläche haben, mit einander, so haben im Allgemeinen die mehr westlich gelegenen eine höhere mittlere Temperatur, als die östlicher gelegenen. Noch größere Differenzen ergeben sich, wenn man Orte in Europa mit Orten von gleicher geographischer Breite und ungefähr gleicher Höhe über dem Meeresspiegel in Asien oder Amerika oder auf der südlichen Halbkugel vergleicht. Besonders hat das westliche Europa eine beträchtlich höhere Temperatur, als den anderen Erdtheilen bei gleichem Abstande vom Aequator zukommt.

Alexander v. Humboldt hat zuerst (1817) diese Verhältnisse sehr anschaulich auf die Art dargestellt, daß er Linien durch diejenigen Orte der Erdoberfläche zog, deren mittlere Lufttemperatur, wenn sie nach dem im vorhergehenden Paragraphen Angegebenen auf den Meeresspiegel reducirt wird, eine gleiche Größe hat. Man nennt diese Linien Isothermen. Wie die am Ende beigefügte Charte zeigt, laufen diese Linien keineswegs dem Aequator parallel, sondern entfernen sich am weitesten an den westlichen Küsten Europa's von demselben, wo sie ihre höchsten Gipfel erreichen, und senken sich östlich nach Asien, westlich nach Amerika hin, steigen aber gegen die Westküste Amerika's wieder empor, indem die westlichen Küsten von Amerika eine höhere Temperatur, als die östlichen, besitzen. Die Linie der größten Wärme, der thermische Aequator, fällt nicht mit dem geographischen zusammen, sondern nördlich von demselben, indem die nördliche Halbkugel eine etwas höhere Temperatur, als die südliche, besitzt. Eben so deutet auch die Gestaltung der Isothermen darauf hin, daß die kältesten Punkte der Erdoberfläche, die Kältepole, nicht mit den geographischen zusammenfallen, und daß auf der nördlichen Halbkugel zwei Kältepole, der eine im Norden von Asien, der andere im Norden von Amerika, vorhanden sind.

Als die wichtigste Ursache der verschiedenartigen Krümmungen der Isothermen ist die ungleiche Vertheilung des festen Landes und des Meerwassers anzusehen. So verdankt ins Besondere Europa seine höhere Temperatur vorzüglich dem Umstande, daß demselben gegenüber in der heißen Zone sich das Festland von Afrika ausbreitet, während von Asien und Amerika verhältnißmäßig nur kleine Theile in die heiße Zone hineinreichen, welche hier zum weit größeren Theile vom Meerwasser eingenommen wird. Das Meerwasser wird aber nicht so stark durch die Sonnenstrahlen, als das feste Land erwärmt, weil einerseits das Wasser die Sonnenstrahlen weniger reichlich absorbirt, andererseits das erwärmte Wasser, wegen der im Meere beständig stattfindenden Strömungen, nach anderen, weniger warmen Gegenden abfließt und aus diesen kaltes Wasser zuströmt.

Eine zweite Ursache der höheren Temperatur der westlichen Küsten Europa's ist der Golfstrom, welcher denselben das wärmere Wasser der heißen Zone zuführt. Die zwischen den Wendekreisen beständig wehenden Ostpassate bewirken nehmlich in den großen Oceanen der heißen Zone eine fortwährende Strömung von Osten nach Westen. Indem der in den mexikanischen Busen eintretende Strom das feste Land nicht zu durchbrechen vermag, wendet er seinen Lauf gegen Nordost, geht zunächst längs der östlichen Küste Amerika's hin und theilt sich weiterhin in zwei Arme, von denen der eine sich gegen die Azoren und die Westküste Afrika's, der andere aber gegen Europa bewegt. Mit diesem Strome werden häufig, besonders bei westlichen und südwestlichen Winden, den Küsten von Irland oder Norwegen Pflanzen oder Früchte zugeführt, welche der heißen Zone von Amerika angehören. Dieser Strom, welcher die Wässer der heißen Zone den höheren Breiten zuführt und lange Zeit seine höhere Temperatur beibehält, theilt dieselbe zugleich den über ihm befindlichen Luftschichten mit, welche sich bei westlichen und südwestlichen Winden über Europa verbreiten. Dem Einflusse des Golfstromes ist es auch zuzuschreiben, daß sich im Norden Europa's beständig ein eisfreies Meer befindet und auch mitten im Winter das Polareis die Küsten von Norwegen und Lappland nicht erreicht.

Wenn zwei Orte die nehmliche mittlere Temperatur haben, so können doch ihre klimatischen Verhältnisse im Uebrigen sehr verschieden seyn. Wie wir schon oben gesehen haben, äußert besonders das Meer einen sehr bedeutenden Einfluß auf die Größe des Unterschiedes zwischen der Sommerwärme und Winterkälte. So hat z. B. Dublin fast einen eben so milden Winter, als Constantinopel, aber nur eine Sommerwärme wie Petersburg, Quebeck in Amerika gleiche Sommerwärme mit Wien und gleiche Winterkälte mit Moskau, Jakuzk in Sibirien bei einer entsetzlichen Winterkälte fast eben so warme Sommer als London u. dgl. m. Linien, welche durch Orte gleicher Sommerwärme gehen, werden Isotheren (von θέρος, Sommer), und Linien welche durch Orte gleicher Winterkälte gehen, Isochimenen (von χεῖμα, Winter) genannt.

In Jakuzk in Sibirien, unter 62° Breite, wo der Erdboden in größerer Tiefe, als 3 Fuß, beständig gefroren bleibt, werden während des kurzen, aber heißen Sommers, welcher von der Mitte des Mai bis Mitte September währt, noch Sommerweizen und Roggen gebaut, was auf Island, welches eine höhere Temperatur und weit geringere Winterkälte hat, nicht mehr möglich ist, indem die Sommerwärme nicht ausreicht, das Getreide zur Reife zu bringen. Während in Jakuzk in Sibirien bei einer mittleren Jahrestemperatur von —10° die Lufttemperatur nicht selten 25° übersteigt, geht dieselbe im Winter bis —50° herab.

Als die mittlere Lufttemperatur am Aequator kann man 27,5° annehmen. Die höchste Temperatur, bis zu welcher man das Thermometer in der heißen Zone in der Entfernung einiger Fuße vom Boden im Schatten hat steigen sehen, dürfte 45° bis 46° betragen. Auf dem Meere steigt dasselbe jedoch nicht über 30°. Die niedrigste auf der Erde überhaupt beobachtete Temperatur dürfte —58° betragen. In Deutschland kann man als die äußersten Grenzen der Lufttemperatur +38° und —32° annehmen.

So weit historische Zeugnisse reichen, scheint in den verschiedenen Gegenden der Erde die Temperatur im Mittel sich nicht verändert zu haben. So fällt noch jetzt, wie zu den Zeiten der Römer, in Italien der Anfang der Ernte in die Mitte des Mai's und die Weinlese in den September. In strengen Wintern bedeckt sich gegenwärtig, wie zu Herodots Zeiten, der Bosporus mit Eis. In Palästina gedeiht noch jetzt, wie zu Moses Zeiten, die Weinrebe, spärlicher die Dattelpalme. Die Weinlese fällt noch jetzt, wie damals, Ende September oder Anfang October, und die Getreideernte währt von der Mitte April bis Ende Mai. Alle Umstände sprechen dafür, daß seit 3300 Jahren die mittlere Temperatur von Palästina sich nicht beträchtlich geändert hat. Zu gleichen Resultaten führen die etwa vor 200 Jahren zu Florenz und die an anderen Orten innerhalb kürzerer Zeiträume angestellten Beobachtungen des Thermometers. Dagegen scheinen in mehreren Gegenden der Erde, so ins Besondere in Amerika, seit Ausrottung der Wälder und größerer Urbarmachung des Bodens die Sommer kühler, aber die Winter weniger streng geworden zu sein.

Die folgende Tabelle gibt für verschiedene Orte der Erdoberfläche die geographische Breite, die Höhe über der Meeresfläche in Pariser Fußen, die mittlere Temperatur des Jahres, des Sommers (der Monate Juni, Juli und Auguſt), des Winters (der Monate December, Januar und Februar) und die jährliche Regenmenge in Pariser Zollen an.

Orte.	Breite.	Höhe.	Mittlere Temperatur des Jahres.	Mittlere Temperatur des Sommers.	Mittlere Temperatur des Winters.	Jährliche Regenmenge.
Quito	0° 14′ S	8970	15,6°	15,6°	15,4°	—
Madras	13 5 —	0	27,7	30,1	25,0	—
Massena (Abyssinien)	15 36 N	—	31,0	—	—	—
Mexiko	19 26 —	6990	15,9	18,4	12,4	—
Calcutta	22 35 —	—	26,8	21,6	29,1	91,00
Rio-Janeiro	22 55 S	0	23,1	26,1	20,3	—
Canton	23 8 N	—	21,1	27,8	12,7	—
Capstadt	33 55 S	—	16,5	20,3	12,8	21,85
Algier	36 47 N	0	17,8	23,6	12,4	25,80

Orte.	Breite.	Höhe.	Mittlere Temperatur des Jahres.	Mittlere Temperatur des Sommers.	Mittlere Temperatur des Winters.	Jährliche Regenmenge.
Palermo	38 7 N	—	19,5	23,6	12,4	20,80
St. Louis (Missouri)	38 37 —	420	13,1	24,6	1,1	37,19
Lissabon	38 42 —	222	16,4	21,7	11,3	25,39
Baltimore	39 17 —	—	12,1	23,3	0,8	38,44
Peking	39 54 —	300	12,6	25,2	—1,6	25,25
Madrid	40 25 —	1940	14,3	23,5	6,9	—
Constantinopel	41 0 —	141	14,3	24,1	6,3	—
Rom	41 54 —	160	15,4	22,9	8,1	29,30
Marseille	43 18 —	144	14,1	21,1	7,4	20,6
Astrachan	46 21 —	—	10,0	24,4	—7,1	—
Quebek	46 49 —	—	5,5	20,2	—9,9	—
München	48 9 —	1620	8,9	17,4	—0,4	—
Wien	48 13 —	480	10,2	20,2	0,1	16,00
Tübingen	48 31 —	990	8,2	17,0	—0,9	23,90
Straßburg	48 35 —	450	9,8	18,1	1,2	25,57
Paris	48 50 —	80	10,8	18,1	3,3	20,8
Regensburg	49 1 —	1032	8,6	18,0	—1,4	21,07
Mannheim	49 29 —	282	10,3	19,5	1,5	21,00
Prag	50 5 —	576	10,1	20,0	—0,6	14
Frankfurt am Main	50 7 —	360	9,6	18,4	0,4	—
Brüssel	50 51 —	180	10,2	17,6	3,0	17,90
Dresden	51 3 —	372	9,5	18,9	0,0	—
Breslau	51 6 —	456	7,8	17,3	—1,9	14,77
Düsseldorf	51 14 —	85	11,0	18,7	2,8	—
Elberfeld	51 16 —	400	9,3	16,3	2,2	26,05
London	51 31 —	162	9,1	15,5	3,1	23,40
Halle	51 31 —	342	9,0	17,4	0,1	19,53
Göttingen	51 32 —	408	9,1	17,6	0,6	24,90
Brocken	51 48 —	3500	0,9	—	—	48,68
Münster	51 58 —	193	9,5	16,8	2,2	—
Warschau	52 13 —	375	7,3	18,1	—3,8	—
Irkuzk	52 17 —	1355	0,3	18,4	—17,3	—
Berlin	52 31 —	120	9,0	18,3	—0,5	22,16
Dublin	53 23 —	—	9,5	15,3	4,6	—
Hamburg	53 33 —	36	8,6	17,0	0,3	—
Danzig	54 21 —	0	7,6	16,4	—1,2	19,56
Königsberg	54 43 —	0	6,2	15,9	—3,3	24,63
Kopenhagen	55 41 —	82	7,6	16,5	—0,5	18,00
Lund	55 42 —	—	7,2	16,7	—1,4	18,10
Moskau	55 46 —	522	4,4	18,2	—9,1	—
Kasan	55 47 —	270	2,1	17,1	—14,5	—
Edinburg	55 57 —	270	8,1	13,9	3,5	23,50
Upsala	59 52 —	—	5,2	15,1	—3,9	16,7
Petersburg	59 56 —	106	4,2	—	—	16,55
Bergen	60 24 —	54	8,2	14,8	2,5	83,17
Jakuzk	62 1 —	270	—10,3	17,6	—38,0	—
Insel Melville	74 47 —	0	—18,7	2,8	—33,5	—

§. 256. Temperatur des Bodens, der Quellen und des Meeres.

An den Veränderungen der Lufttemperatur nimmt auch die Oberfläche der Erde mehr oder weniger Theil. Die Größe dieser Schwankungen nimmt jedoch mit der Tiefe rasch ab und in einer gewissen Tiefe, welche aber für verschiedene Bodenarten verschieden ist, hören dieselben ganz auf, wahrnehmbar zu sein. In einer Tiefe von etwa 2 Fuß werden die täglichen, in einer Tiefe von 70 bis 80 Fuß auch die jährlichen Schwankungen der Tempe-

ratur des Bodens in unseren Breiten unmerklich. In der heißen Zone geschieht auch das Letztere schon in einer Tiefe von wenigen Fußen.

Dringt man bis zu größeren Tiefen in die Erdrinde, so nimmt überall auf der Erde, in der heißen, wie in der gemäßigten oder kalten Zone, die Wärme mit der Tiefe zu. Auf je 90 bis 100 Fuß Tiefe kann man eine Zunahme der Temperatur von 1^0 rechnen. Dieses Resultat ist durch Beobachtungen der Temperatur des Gesteins in Bergwerksschachten und der Temperatur des Wassers in Bohrlöchern erhalten worden. Die größte Tiefe, welche man auf diese Art erreicht hat, beträgt nur wenig über 2000 Fuß. Findet auch für größere Tiefen die Zunahme der Temperatur nach demselben Verhältnisse statt, so muß in 10,000 Fuß die Temperatur der des siedenden Wassers gleich sein; in der Tiefe von etwa 5 Meilen müßte auch der Granit sich im geschmolzenen Zustande befinden. Daß wirklich nur die äußere Erdrinde sich im festen Zustande befindet, innerlich aber eine geschmolzene Masse umhüllt, dafür sprechen besonders die vulkanischen Erscheinungen, die aus den Spalten der Erdkruste sich ergießenden feurig fließenden Laven.

Reichlich fließende Quellen zeigen fast durch das ganze Jahr eine ziemlich gleiche Temperatur. Die größte Wärme derselben fällt gewöhnlich in den September, die geringste in den März. Bei den meisten Quellen der gemäßigten Zone übertrifft ihre Temperatur in Folge der mit der Tiefe zunehmenden Erdwärme etwas die mittlere Lufttemperatur, in höheren Breiten steigt dieser Unterschied selbst bis auf mehrere Grade; über die heiße Zone fehlen noch hinreichende Beobachtungen. — Einige Quellen zeigen eine Temperatur, welche um Vieles höher ist, als die mittlere Lufttemperatur, was zu dem Schlusse führt, daß dieselben größeren Tiefen entspringen. Aus dem Unterschiede zwischen der Temperatur einer Quelle und der mittleren Lufttemperatur läßt sich zu Folge des oben Gesagten annähernd die Tiefe ihres Ursprungs berechnen.

Die Temperatur des Meeres ist, wie wir im Vorhergehenden schon bei mehreren Gelegenheiten bemerkt haben, weit geringeren Schwankungen unterworfen, als die Lufttemperatur. Im Allgemeinen ist die mittlere Temperatur des Meeres an der Oberfläche von der mittleren Lufttemperatur nur wenig verschieden; in höheren Breiten jedoch übertrifft sie dieselbe bedeutend. In den niederen Breiten nimmt die Temperatur des Meerwassers mit der Tiefe ab. Selbst in der heißen Zone hat man aus sehr großen Tiefen Meerwasser geschöpft, welches eine Temperatur von weniger, als 3^0 zeigte. Diese Erscheinungen erklären sich durch das Strömen des kalten Wassers in der Tiefe von den Polen nach dem Aequator und durch das Abfließen des wärmeren Wassers an der Oberfläche von der heißen nach der kalten Zone hin.

In dem Bohrloche zu Neusalzwerk ohnweit Minden, welches eine Tiefe von 2150 par. Fuß hat, ist man 1920 Fuß unter den Spiegel des Meeres gekommen. Die aus dieser Tiefe kommende Salzsoole hat eine Temperatur von 33^0, während die mittlere Lufttemperatur bei Neusalzwerk nur 9^0 betragen dürfte. — Auch im nördlichen Sibirien, wo im Sommer nur die Oberfläche des Bodens aufthaut, nimmt die Temperatur mit der Tiefe zu. In einem bei Jakuzk abgeteuften Schachte wurden an den in den gefrorenen Boden eingesenkten Thermometern folgende Temperaturen beobachtet:

Tiefe engl. Fuß.	Temp.	Tiefe engl. Fuß.	Temp.
7 " "	—18,1	150 " "	—5,8
15 " "	—12,5	200 " "	—5,0
20 " "	—11,0	250 " "	—4,4
50 " "	—8,0	300 " "	—4,0
100 " "	—6,8	350 " "	—3,2

16 englische Fuß sind nahe gleich 15 Par. Fußen.

Unter den warmen Quellen ist besonders der Geyser auf Island ausgezeichnet, welcher Siedehitze hat. Von anderen warmen Quellen führen wir an die von

Burtscheid	78°	Aachen	44—57°
Karlsbad	74°	Ems	56°
Wiesbaden	70°	Teplitz	48°
Baden	67°	Warmbrunn	37°

*§. 257. Historische Uebersicht.

1605. Drebbel in Holland erfindet das Thermometer, welches jedoch der festen Punkte noch entbehrt.
1687. Papin in Cassel stellt Versuche über die Elasticität des Wasserdampfes an.
1705. Newkomen in England construirt die erste atmosphärische Dampfmaschine.
1710. Fahrenheit in Danzig und Réaumür in Frankreich führen am Thermometer die noch jetzt gebräuchlichen festen Punkte ein.
1735. Hadley in England giebt die vollständige Erklärung der Passatwinde.
1763. Watt in England stellt Messungen der Elasticität des Wasserdampfes an und giebt der Dampfmaschine die Einrichtung, welche dieselbe im Wesentlichen noch gegenwärtig hat.
1763. Black in England weist die latente Wärme des Wassers nach.
1783. Saussüre erfindet das Haarhygrometer.
1788. Pictet in Genf stellt Versuche über die Reflexion der Wärmestrahlen an.
1804. Leslie in England stellt Untersuchungen über das Strahlungsvermögen der Körper, welche eine verschiedene Oberfläche haben, an.
1807. Die Dampfschiffe kommen zuerst in Amerika in Gebrauch.
1814. Wells in England begründet die Theorie des Thaues.
1817. Alexander von Humboldt stellt das System der isothermischen Linien auf.
1819. Daniell in England erfindet das nach ihm benannte Hygrometer.
1823. Faraday in England stellt über die Condensation der Gase entscheidende Versuche an.
1829. August in Berlin erfindet das Psychrometer.
1831. u. folg. Melloni zeigt, daß es verschiedenartige Wärmestrahlen giebt, welche von verschiedenen Körpern nach ungleichen Verhältnissen reflectirt oder durchgelassen werden.
1835. Forbes in England bewirkt eine Polarisation der Wärmestrahlen.
1847. Fizeau und Foucault weisen die Interferenz und
1848. Knoblauch in Marburg die Beugung der Wärmestrahlen nach.
1857. Franz bestätigt durch directe Versuche die Annahme, daß Licht und Wärme wesentlich auf demselben Prinzipe beruhen.

Anhang.

Wir erwähnen hier noch eines Gegenstandes, zu dessen näherer Besprechung es uns im Buche selbst an einer schicklichen Gelegenheit gefehlt hat, nehmlich der Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine. Man nimmt gegenwärtig fast allgemein an, daß die Sternschnuppen und die Feuerkugeln, welche sich von den Sternschnuppen nur durch eine beträchtlichere Größe unterscheiden, kleine Himmelskörper sind, welche in elliptischen Bahnen um die Sonne kreisen, und sich uns, wenn sie in die Nähe der Erde kommen,

als hell leuchtende, rasch bewegte Körper zeigen. Nicht selten ist die Erscheinung der Feuerkugeln von einer Explosion begleitet, in Folge deren aus denselben feste, mehr oder weniger erhitzte Massen zur Erde niederfallen, welche den Namen Meteorsteine führen. Am Tage werden diese Massen gewöhnlich aus einer plötzlich, oft am übrigens heiteren Himmel, sich zeigenden Wolke unter donnerartigem Getöse herabgeschleudert. Die Meteorsteine haben verschiedene Bestandtheile. Einige bestehen fast ganz aus gediegenem Eisen, in anderen dagegen überwiegen erdige Bestandtheile. — Die Ursache des Leuchtens und Zerplatzens der Sternschnuppen oder Feuerkugeln ist noch nicht mit Sicherheit ermittelt. — Durchschnittlich werden in einer heiteren, durch den Mond nicht erhellten Nacht stündlich 6—8 Sternschnuppen wahrgenommen. In manchen Nächten beläuft sich ihre Zahl auf viele Tausende. Besonders häufig zeigen sich dieselben in den Nächten vom 8. bis 12. August und vom 12. bis 14. November. Vielleicht umkreiset ein Schwarm von Sternschnuppen die Sonne in ähnlicher Art, wie die kleinen Planeten zwischen Mars und Jupiter, in einem Gürtel, welchen an den gedachten Tagen die Erde bei ihrem Umlauf um die Sonne durchschneidet.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Sternschnuppen sich bewegen, schwankt nach den vorzüglich von Brandes angestellten Messungen zwischen $4^1/_2$ bis 9 Meilen (nach Heis in Münster sogar 12 bis 24 M.) in der Secunde; die Höhe, in welcher sich dieselben zeigen (sichtbar werden oder verschwinden), zwischen 4 und 35 Meilen.

Empfehlenswerthe Bücher.

Für Leser, welche über die verschiedenen Zweige der Physik eine ausführlichere und tiefer eingehende Belehrung wünschen:

Eisenlohr: Lehrbuch der Physik. 8. Auflage. Stuttgart, 1860.

Pouillet-Müller's Lehrbuch der Physik und Meteorologie. 5. Aufl. Braunschweig, 1857.

Für Leser, welche zur Anstellung von Versuchen und zur eigenen Anfertigung einfacher Apparate eine Anleitung wünschen:

Frick: Physikalische Technik. 2. Aufl. Braunschweig, 1856.

Register.

Abendröthe . . . . S. 320
Absorption der Gase . . 106
Absorption der Lichtstrahlen 292
Absorption der Wärmestrahlen 421
Abweichung, magnetische 151
Accomodiren des Auges 361
Achromatische Linsen . . 354
Achromatische Prismen . 325
Adhäsion 10
Aeolsharfe 261
Aequator, magnetischer . 156
Aequator, thermischer . . 430
Aequivalent, chemisches . 125
Aerostatik 17. 86
Aether 67. 284
Aggregatzustand 7
Aggregatzustand, durch die Wärme bedingt . . . 393
Alkalien, alkalische Erden 112
Albumin 135
Allotropie 126
Amalgam, electrisches . . 165
Amalgamiren des Zinks 204
Ammoniak, Ammonium 121. 122
Ampèresche Regel . . . 219
Ampèresche Theorie . . . 239
Aplanatismus 354
Aräometer 80
Archimedisches Princip . 77
Armirung, magnetische . 148
Artesische Brunnen . . . 77
Astatische Doppelnadel . 219
Athermane Körper . . . 422
Atmometer 410
Atmosphäre, Bestandtheile derselben 119
Atmosphäre, Druck ders. 87
Atmosphäre, electrische . 177
Atomgewichte 124
Auge 358
Ausdehnung 4
Ausdehnung dch. Wärme 380
Ausflußgeschwindigkeit . 82
Auslader, electrischer . . 171
Axe, magnetische 141
Axe, optische 337
Azot 119
Ballistische Curve . . . 64
Barometer 87
Barometerschwankungen 89
Basen 112
Batterie, electrische . . . 170
Becquerelsche Kette . . . 209
Beugung des Lichtes . . 330
Beweglichkeit, Bewegung 15
Bifilarmagnetometer . . 158
Bild, phys. u. geometr. 343
Blasinstrumente 265
Bläue des Himmels S. 319
Bausäure 132
Bleibaum 214
Blendung 370
Blitz 194
Blitzableiter 196
Blitzrad, von Neeff . . 211
Blitzröhren 195
Bohnenbergers Electroscop 209
Bologneser Leuchtstein . 287
Brechung des Lichts 298. 304
Brechung der Wärmestrahlen 423
Brechung, doppelte . . . 337
Brechungsexponent . . . 300
Brechungsvermögen . . 303
Brennglas 350
Brennpunkt 341. 346
Brennspiegel 343
Brillen 351
Brom 140
Brückenwage 38
Bunsen'sche Kette 209
Calmen 390
Calorimeter 418
Camera lucida 310
Camera obscura 356
Canalwage 75
Capacität für die Wärme 417
Capillarität 11
Cartesianischer Taucher . 78
Casein 135
Centralbewegung 66
Centrifugalkraft 18
Chem. Erscheinungen 3. 169
Chemische Wirkungen des galvanischen Stromes 212
Chemische Wirkungen der Maschinenelectricität . 216
Chemische Wirkungen des Lichtes 339
Chem. Wirkungen durch Contact 108
Chladnische Figuren . . 264
Chlor 139
Chromatische Abweichung 354
Chronoscop 237
Coercitivkraft 146
Cohäsion 9
Collector 187
Collodium 121
Combinationstöne . . . 281
Communicirende Röhren 75
Commutator 246
Compensationspendel . . 60
Complementäre Farben. 317
Compression der Flüssigkeiten 79
Compressionspumpe. . . 101
Condensation der Gase 399
Condensator d. Electric. S. 187
Conductor 165
Constante Ketten 206
Contacttheorie 205
Cyan 132
Daguerre'sche Bilder . . 357
Dalton'sches Gesetz . . . 408
Dämmerung 297
Dämpfe und Gase . . . 9
Dämpfe, Elasticität ders. 397
Dämpfe mit Gasen vermischt 408
Dampfmaschine 408
Daniell'sche Kette 209
Davy'sche Lampe 130
Decimalwage 38
Declination, magnetische 151
Declinationsnadel. . . . 155
Deflagrator, Hare's . . 206
Diamagnetismus 149
Dianenbaum 214
Diaphragma 370
Diathermane Körper . . 422
Dichtigkeit 5
Differentialthermometer. 420
Diffraction des Lichtes. 326
Diffusion der Gase . . . 14
Diffusion des Lichtes . . 297
Dinte 133
Dioptrik 298
Dispersion des Lichtes . 314
Donner 194
Doppelte Brechung des Lichtes 337
Drehungsgesetz d. Windes 391
Drehwage, magnetische . 143
Drehwage, electrische . . 178
Druck, hydrostatischer . . 73
Druck der Luft 86
Druckpumpe 99
Drummond's Kalklicht . 285
Dunstbläschen 412
Durchsichtige Körper . . 286
Ebbe 24
Echo 277
Eigenschaften, allgemeine 4
Einfache Stoffe 109
Eisen, Verbindungen desselben mit Kohlenstoff 132
Eisen, galvanisirtes . . . 214
Elasticität 8
Electricität, dynamische. 199
Electricität, entgegengesetzte 165
Electricität, freie und gebundene 180
Electricität, statische . . 161
Electricität, thierische . 252
Electricität der Luft . . 190
Electricitätserregung . . 188
Electrische Erscheinung . 161
Electrische Figuren . . . 189

Electrische Fische . . S. 252
Electrische Pistole . . . 168
Electrisirmaschine 165
Electromagnet 228
Electromagnetische Erscheinungen . . . 218. 219
Electrometer 187
Electrometer, Bohnenberger's 209
Electrophor 179
Elmsfeuer, St. 197
Emanationshypothese . . 284
Endosmose 12
Erde, Dichtigkeit derselb. 22
Erden 112
Erdmagnetismus, Intensität desselben 157
Erdmagnetismus, Veränderungen desselben . 158
Erleuchtung 288
Ernährung der Pflanzen und Thiere . . 133. 134
Essigsäure 133
Eudiometer 119
Extrastrom 244
Fall der Körper 50
Farben, complementäre . 317
Farben, einfache und gemischte 317
Farben, natürl. d. Körper 318
Farben, physiologische . 364
Farben dünner Blättchen 327
Farbe des Himmels . . 319
Farbenbild, prismatisches 314
Farbenbild, Wärmeverhältnisse desselben . . 423
Farbenzerstreuung . . . 314
Fata Morgana 308
Fernrohr 371
Festigkeit 7
Feuchtigkeit 409
Feuerprobe 402
Feuerschlagen 377
Feuerspritze 100
Fibrin 135
Flageolet-Töne 261
Flamme 131
Flasche, electrische 170. 183
Flaschenzug 41
Flüssige Körper 7. 70
Fluor 140
Fluorescenz 319
Fluth 24
Fortpflanzung des Schalles 270. 274
Foucault's Versuch . . . 62
Franklin's Tafel 171
Frauenhofer'sche Linien . 316
Funken, electrischer . . . 181
Gährung, geistige . . . 129
Gährung, saure 129
Galvan. Erscheinung S. 199
Galvanische Kette . . . 202
Galvanische Vergoldung 216. 217
Galvanometer . . . 220. 221
Galvanoplastik 216
Gase 9 399
Gasometer 130
Gasbeleuchtung 130
Geräusch 257
Gerbsäure 133
Geschwindigkeit 16
Geschwindigkeit der Electricität 173
Geschwindigkeit d. Lichtes 291
Geschwindigkeit des Schalles . 271. 273. 274
Gesichtswinkel 360
Gewicht, absolutes und specifisches 20
Gewicht, specifisches, fester u. flüssiger Körper . . 78
Gewicht, specif., der Gase 104
Gewichte, landesübliche 39
Gewitter 174. 191
Glas 138
Glaselectricität 165
Gleichgewicht 17
Glockenspiel, electrisches 165
Golfstrom 430
Gravitationsgesetz . 23. 66
Größe der beweg. Kräfte 16. 46
Grove'sche Kette 207
Grubengas 129
Grundeis 386
Grundton 259
Gyrotrop 246
Haarrauch, Höhenrauch 414
Haarhygrometer 412
Hagel 414
Halbleiter, electrische . . 162
Haloidsalze 139
Hammer, magnetischer . 245
Hare's Deflagrator . . 206
Harzelectricität 165
Hebel 35
Heber, gekrümmter . . . 94
Heliostat 296
Heronsball 100
Hindernisse d. Bewegung 68
Höfe um Sonne u. Mond 333
Höhenmessung, barometr. 90
Hörrohr 278
Hohlmaße 5
Hohlspiegel 340
Holz, Bestandtheile dess. 126
Hornsilber 140
Humus 134
Hydrat 118
Hydraulik 17. 72
Hydraulische Presse . . 72
Hydroelectrisirmaschine S. 168
Hydroextractor 19
Hydrogenium 117
Hydrostatik 17. 71
Hydrothionsäure 137
Hygrometer 410
Hygroscopische Substanz 410
Hypothesen 2
Hypsometrie 90
Inclination, magnetis. . 154
Inclinatorium 156
Indifferentes Gleichgew. 33
Indifferenzpunkte, magn. 141
Induction, electrische 185. 243
Induction, magnetische . 249
Inflexion des Lichtes . 330
Influenz, electrische . . 179
Interferenz d. Lichtwellen 326
Interfer. d. Schallwellen 280
Jod 140
Irrlicht 197
Isochimenen 431
Isodynamische Linien . 158
Isogonische Linien . . . 154
Isoklinische Linien . . . 156
Isolirung, electrische . . 163
Isotheren 431
Isothermen 429
Kälte, künstliche . 395. 400
Kältepole der Erde . . . 430
Kaleidoscop 296
Kasten, optischer 350
Katoptrik 292
Keil 44
Keppler'sche Gesetze . . . 65
Kette, galvanische 202
Kette, constante 206
Kette, thermoelectrische . 222
Kiesel, Kieselsäure . . . 138
Klangfiguren 264
Klima 427
Knallgas 118
Knallgasmikroscop . . . 355
Knallsäure 132
Kniepresse 44
Knotenlinien 263
Königswasser 140
Kohle 126
Kohlenoxydgas 128
Kohlensäure 127
Kohlenstoff 125
Kohlenwasserstoff 129
Kraft 2
Kryophorus 404
Krystallisation 14
Krystallwasser 119
Kurzsichtigkeit 362
Labiles Gleichgewicht . 33
Längenmaße 4. 5
Landhose 392
Latente Wärme 403

Laterna magica . . S. 356
Leidenfrost's Versuch . . 402
Leitung d. Electricit. 161. 226
Leitung der Wärme . . 418
Leuchtende Körper . . . 285
Licht 283
Lichtbilder 357
Lichtenbergische Figuren 190
Lichtflamme 131
Lichtstrahl 287
Linsen, concave 350
Linsen, convexe 346
Lippenpfeifen 265
Liter 5
Locomotive 407
Luftballon 164
Luftelectricität 190
Luftförmige Körper . 7. 85
Luftpumpe 101
Luftspiegelung 311
Luftthermometer 381
Luftzug 386
Lupe 369
Magazin, magnetisches 149
Magdeburger Halbkugeln 103
Magnet, Magnetismus . 141
Magnetische Wirkungen des Stromes 218
Magnetischer Hammer . 245
Magnetisirung d. Streichen 147
Magnetisirung durch den Strom 228
Magnetnadel 142
Magnetelectricität . . . 249
Magnetelectr., Maschine 250
Magnetometer 154
Manometer 98
Mariotte'sches Gesetz . . 95
Maschine 35
Masse 5
Maße, landesübliche . . 4. 5
Materie 5
Mechanik 17
Mechan. Erscheinungen 3. 4
Mechan. Erscheinungen flüssiger Körper . . . 71
Mechan. Erscheinungen luftförmiger Körper . 85
Meer, Ströme in demf. 392
Meer, Temperatur . . . 433
Meile, geogr. u. preuß. 4
Meridian, magnetischer . 151
Metalle 110
Metallthermometer . . . 383
Metallvegetationen . . . 214
Meteore 2
Meter 4
Mikrometer 370
Mikroscop, einfaches . . 368
Mikroscop, zusammengef. 369
Mischungsgewicht 125
Mittelkraft . . . . . S. 27
Mittelpunkt der Kräfte 30. 31
Mittheilung, electr. 161. 181
Mittönende Schwingung 279
Moment, statisches . . . 36
Mondlicht wirkt erwärmd. 423
Monochord 259
Morgenröthe 320
Moser'sche Bilder . . . 108
Moussons 391
Multiplicator, Schweigers 220
Nachbilder 364
Naturgesetz, Naturlehre . 1
Nebel 412
Nebensonnen 334
Nebenstrom, electrischer 185
Nebenton 261
Neigung, magnetische . . 154
Newton'sche Farbenringe 328
Nichtleiter d. Electricität 162
Nicol'sches Prisma . . . 338
Nobili's Farbenringe . . 215
Nordlicht 198
Octave 259
Oerstedt's Versuch . . . 218
Ohm'sches Gesetz 226
Ohr, menschliches . . . 282
Ohr des Dionysius . . 279
Ombrometer 416
Optik 287
Optische Instrumente . . 340
Optische Kammer 290
Optische Täuschungen . 366
Optisches Centrum . . . 346
Organische Verbindungen 132
Oxygenium 113
Oxyd, Oxydation . . . 116
Oxydul 117
Ozon 115
Panorama 350
Papin'scher Topf 401
Parallelogr. d. Kräfte . 27
Passatwinde 389
Passivität des Eisens . 208
Pendel, mathematisches . 53
Pendel, physisches . . . 58
Perturbationen 26
Pfeifen, offene u. gedeckte 266
Pfeifen, d. m. d. Munde 269
Phosphor 137
Phosphorescenz 285
Photographie 357
Photometrie 289
Physik 1
Phlogiston 117
Pneumatik 17
Pneumatisches Feuerzeug 418
Polarisation d. Lichtstrahl. 334
Polaris. d. Wärmestrhl. 423
Polarisationsebene . . . 336
Polarisirung, electrische 222
Pole, magnet. der Erde S. 152
Porosität 5
Proportionen, chemische 122
Proteinverbindungen . . 135
Psychrometer 410
Pulshammer 401
Pumpe 99
Pyrometer 384
Quadrantenelectrometer 169
Quellen der Wärme . . 377
Quellen 77
Quellen, warme 433
Radikal 111
Rauch 131
Reagens 120
Real's Presse 74
Reflexion des Lichtes . 292
Refractor 371
Regen 414
Regenbogen 320
Reiber, Reibzeug 165
Reibung, Hind. d. Beweg. 68
Reibung erregt Wärme 377
Reif 423
Residuum, electrisches . 185
Resonanz 279
Resultirende Kraft . . . 27
Reversionspendel 61
Rheophor 228
Rheostat 227
Rhumkorff's Apparat . . 245
Richmann'sche Regel . . 417
Rolle 40
Rotationen, electromagn. 241
Rotationsmagnetismus . 252
Rotationsmaschinen, magnetelectrische 248
Rückschlag 197
Ruß 131
Sacharimeter 339
Säule, Volta'sche . . . 204
Säule, trockne 209
Säule, thermoelectrische 224
Säuren 111
Saiten, tönende 261
Salmiakgeist 121
Salpetersäure 121
Salze 112
Salze, saure, basische . 112
Salzsäure 139
Sammellinsen 345
Sauerstoff 113
Saugpumpe 99
Schall 255
Schatten 287
Schatten, gefärbte . . . 364
Scheiben, tönende . . . 263
Schiefe Ebene 42
Schießbaumwolle 121
Schießpulver 126
Schmelzen 393

Schnee . . . . . S. 414
Schneegrenze 428
Schnellwage 38
Schornsteine, Theorie derf. 386
Schraube 43
Schraube ohne Ende . . 45
Schwankungen des Luftdrucks 89
Schwankung, magnet. . 158
Schwefel 136
Schwefel, Verbdg. desf. 137
Schwefelkohlenstoff . . . 132
Schwere 20. 62
Schwerpunkt 31. 52
Schwimmen 77
Schwingungen, stehende . 270
Schwingungsknoten 261. 268
Schwingungszahlen . . 257
Schwungkraft 17
Seewinde 388
Segner's Wasserrad . . 75
Sehen, deutliches . . . 360
Sehweite 361
Seife 112
Seitenentladung, electr. 185
Seitenkraft 27
Senkwage 80
Sieden 400
Silikate 138
Sinusbouffole 225
Sirene 258
Solenoid 239
Sonnenmikroscop 355
Sonnenstrahlen, Erwärmung durch dieselben 424
Sonnensystem 67
Spannung, electrische . . 177
Spannungsreihe 201
Spectrum, prismatisches 314
Sphärische Abweichung 353
Spiegel, ebene 293
Spiegel, concave 340
Spiegel, convexe 344
Sprachrohr 278
Stabilität 33
Stäbe, tönende 258
Stärke des Lichtes 285. 288
Stärke des Schalles . . 275
Stahl 132
Statik 17. 27
Stechheber 98
Steifheit der Seile . . 69
Stereoscop 367
Stickstoff 119
Stickstoff, Verbdg. desf. 120
Stimme, menschliche . . 270
Stöchiometrie 125
Störungen, magnetische S. 159
Stöße, akustische 231
Stoß fester Körper . . . 47
Stoß des Wassers . . . 83
Strahlenbrech., atmos. . 306
Strom, electrischer . . . 199
Strom, Wirkg. desf. 210. 212
Strom, induc. 185. 243. 249
Stromwender 246
Stürme 392
Suboxyd, Superoxyd . 117
Tangentenbouffole . . . 225
Taucherglocke 5
Telegraphie, electrische . 230
Telescop 373
Temperatur 376
Temperatur der Luft . . 425
Temperatur d. Erdbodens 432
Temperatur der Quellen 432
Temperatur des Meeres 432
Thau 423
Thaumatropie 361
Thaupunkt 409
Theilbarkeit 6
Thermanismus 423
Thermoelectricität . . . 222
Thermograph 427
Thermometer 378
Thermometer, electrisches 185
Thermomultiplicator . . 225
Ton 257
Tonverhältnisse 259
Torricelli'scher Versuch . 86
Totale Reflexion 308
Trägheitsgesetz 17
Tromben 392
Turbine 75
Turmalin, el. Verhalten 189
Uhren, electrische . . . 236
Undurchdringlichkeit . . 5
Undurchsichtigkeit, Grund derselben 313
Variationen, magnetis. 160
Verbindungen erster und zweiter Ordnung . . . 111
Verbreitung d. Electric. 176
Verbrennungsproceß . . 115
Verdunstung 409
Vertheilung, electrische . 179
Vertheilung, magnetische 145
Verwandtschaft, chemis. 113
Vexirbecher 95
Vibrationshypothese . . 284
Vitriol, Vitriolöl . . . 137
Volta'sche Säule 204
Volumen 4
Wärme, Hypothf. ü. dies. 376
Wärme, Quellen derf. S. 377
Wärme, Abnahme derselben mit der Höhe . 428
Wärme, Zunahme derselben mit der Tiefe . 433
Wärme, latente . . 394. 403
Wärme, specifische . . . 417
Wärme d. Mondstrahlen 423
Wärme d. Sonnenstrahl. 424
Wärme d. Farbenspectrs. 423
Wärmecapacität. 417
Wärmeleitung 418
Wärmestrahlung 420
Wärmestrahlen, verschied. 423
Wage, gemeine 27
Wage, hydrostatische . . 79
Wahlverwandtschaft. . . 113
Wasser, Bestandtheile . . 118
Wasser, hartes u. weiches 129
Wasser, abweichendes Verhalten zwischen 0° u 4° 384
Wasserhosen 392
Wasserräder 83
Wasserstoff 117
Wasserstoffsuperoxyd . . 122
Weitsichtigkeit 361
Wellen im Wasser . . . 83
Wellen des Schalles 271. 272
Wellen des Lichtes 284. 330
Wellrad 41
Wetterleuchten 197
Widerstand des Mittels 69
Wind 338
Windbüchse 101
Windfang 70
Windhosen 392
Windkessel 100
Windstillen 390
Winkelspiegel 295
Wolken 412
Wurfbewegung 62
Zamboni'sche Säule 209. 210
Zauberlaterne 356
Zeigerwage 38
Zerlegung d. Kräfte 28. 29
Zerstreuung des Lichtes 314
Zerstreuungslinsen . . . 350
Zitteraal, Zitterrochen . 252
Zündhölzchen 137
Zündhütchen 132
Zungenpfeifen . . . 265. 269
Zurückwerfg d. Schalles 277
Zusammeng. Stoffe 109. 111
Zusammens. d. Kräfte 27. 30
Zusammensetzung des weißen Lichtes 315

Inhalt.

Seite

Einleitung 1

Erste Abtheilung.
Mechanische Erscheinungen.

Erster Abschnitt. Mechanische Eigenschaften der Körper im Allgemeinen 4
Zweiter Abschnitt. Mechanische Erscheinungen fester Körper 27
Dritter Abschnitt. Mechanische Erscheinungen flüssiger Körper . . . 70
Vierter Abschnitt. Mechanische Erscheinungen luftförmiger Körper . . 85

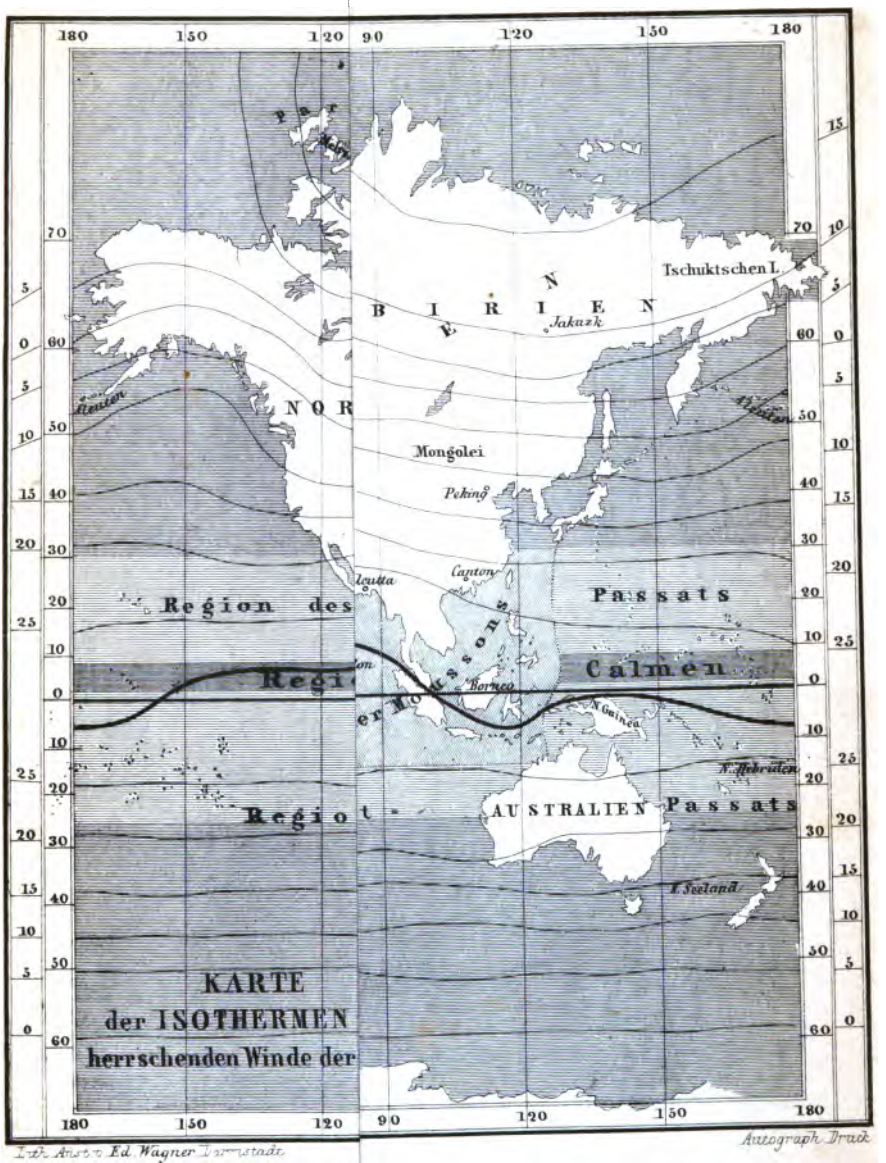
Zweite Abtheilung.
Chemische, magnetische und electrische Erscheinungen.

Fünfter Abschnitt. Chemische Erscheinungen 109
Sechster Abschnitt. Magnetismus 141
Siebenter Abschnitt. Electricität 161

Dritte Abtheilung.
Schall, Licht und Wärme.

Achter Abschnitt. Vom Schalle 255
Neunter Abschnitt. Vom Lichte 283
Zehnter Abschnitt. Von der Wärme 376

Druck von G. D. Bädeker in Essen.


KARTE
der ISOTHERMEN
herrschenden Winde der
Region des
Passats
Calmen
Region
Passats
AUSTRALIEN
Tschuktschen L.
Jakuzk
Mongolei
Peking
Canton
Borneo
N. Guinea
N. Hebriden
N. Seeland
Aleuten
Lith. Anst. v. Ed. Wagner Darmstadt
Autograph Druck